

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”  
Інженерно-хімічний факультет  
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко  
(підпис)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ  
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»**

**за спеціальністю:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізацією:** Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання целюлозно-паперового виробництва

**на тему:** Вдосконалення картоноробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат».

**Модернізація каландра крейдованого картону (Комплексна)**

**Виконав студент 6-го курсу, групи ЛБ-71мп**

Пензєв Олександр Сергійович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Керівник проекту** канд. техн. наук, проф. В. М. Марчевський

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доцент І. М. Ковтун

\_\_\_\_\_  
(підпис)

очікувані техніко-економічні показники модернізації

канд. екон. наук, доцент Н. Є. Скоробогатова

\_\_\_\_\_  
(підпис)

технологія виготовлення торцевого кільця валу каландра

ст. викл. Я. Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

ст. вик. В.В. Колпаков

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ О.С. Пензєв  
(підпис)

Київ – 2018

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні скорочення:

ПрАТ «ККПК» – Приватне акціонерне товариство «Київський картонно-паперовий комбінат»

КРМ – картоноробна машина;

ККД – коефіцієнт корисної дії.

Умовні позначення:

$q_l$  – лінійний тиск, кН/м;

$M$  – момент, Н·м;

$W$  – момент опору, м<sup>3</sup>;

$f$  – прогин, м;

$F$  – площа, м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина, м;

$H, h$  – висота, м;

$D, d$  – діаметри, м;

$m$  – маса, кг;

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>;

$N$  – потужність, Вт;

$n$  – частота обертання, с<sup>-1</sup>;

$P_c$  – сила тяжіння оболонки вала, Н;

$E$  – модуль пружності, МПа;

$I$  – момент інерції, м<sup>4</sup>;

$G$  – сила тяжіння валу, Н;

$p$  – тиск повітря, Па;

$T$  – тягове зусилля, Н;

$Q$  – навантаження на вал, Н;

$\Pi$  – периметр ущільнення, м;

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

$\delta$  – товщина ущільнення;

$\omega$  – кутова швидкість,  $\text{с}^{-1}$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Основними напрямками розвитку целюлозно-паперової промисловості є збільшення продуктивності картоноробних машин (КРМ), а також покращення якості випускаємої паперової продукції, що, здебільшого, залежить від ефективності процесу каландрування картонного полотна на каландрі.

Оскільки останнім часом значно зросли вимоги до якості крейдованого картону, виникла необхідність створення більш ефективного обладнання для його виготовлення та каландрування. У зв'язку з тим, що обробка картону на суперкаландрі потребує значних затрат енергії та трудомістка, від цієї операції намагаються відмовитись, передбачивши перед цим заходи з покращення якості обробки на каландрі машинному. Тому питання розробки нових більш економічних, безвідхідних та модернізації існуючих конструкцій каландра шляхом підвищення ефективності використання ресурсів і зниження енерго- і матеріалоємності виробництва паперу зараз дуже актуальне.

Мета магістерської дисертації – модернізації конструкції каландра крейдованого картону на ПрАТ «ККПК».

Дисертація включає аналіз технологічного процесу каландрування крейдованого картонного полотна з описом та обґрунтуванням обраної конструкції каландра та його складальних одиниць; опис технічних характеристик та принципу дії каландра крейдованого картону, його основних складальних одиниць та деталей; порівняння основних показників обраної конструкції з аналогами; підбір матеріалів для виготовлення елементів конструкції, проведення патентного дослідження конструкції; проведення необхідних розрахунків для підтвердження працездатності та надійності конструкції каландра; розроблення заходів з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях; надання рекомендацій щодо монтажу та експлуатації, визначення рівня стандартизації та уніфікації конструкції; виконання техніко-економічного обґрунтування модернізації; розробку та описання технологічного процесу виготовлення деталі (торцевого кільця) та схеми автоматичного керування технологічним процесом.

Завдання на магістерську дисертацію отримано 03 вересня 2018 року під час проходження переддипломної практики на ПрАТ «ККПК».

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

# 1 Призначення та область застосування каландра крейдованого картону

## 1.1 Опис технологічного процесу

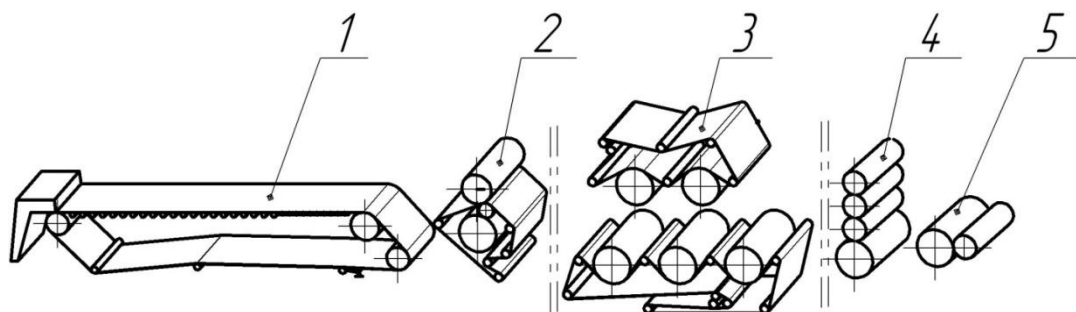
Технологія початкового етапу виробництва крейдованого картону мало відрізняється від стандартного процесу отримання картону.

Технологічний процес виготовлення картону включає такі основні операції: акумулювання маси, розбавлення її водою до необхідної концентрації та очищення від сторонніх включень; подачу маси на сіткову частину КРМ; формування картонного полотна на сітці машини; пресування та видалення надлишку води; сушіння; вигладжування на каландрі та намотування в рулон.

Схема плоскосіткової КРМ зображена на рисунку 1.1. Картоноробна машина складається з сіткової частини 1, пресової частини 2, сушильної частини 3, каландра 4 та наката 5.

Картонна маса, через напірний ящик, поступає на сіткову частину картоноробної машини, де зневоднюється під дією сили тяжіння з формуванням картонного полотна, що пов'язано з видаленням з картонної маси основної кількості води.

Після сіткової частини полотно поступає в пресову частину. Волога, яка утримується поверхнею, видаляється з картонного полотна механічним шляхом, за рахунок пресування.



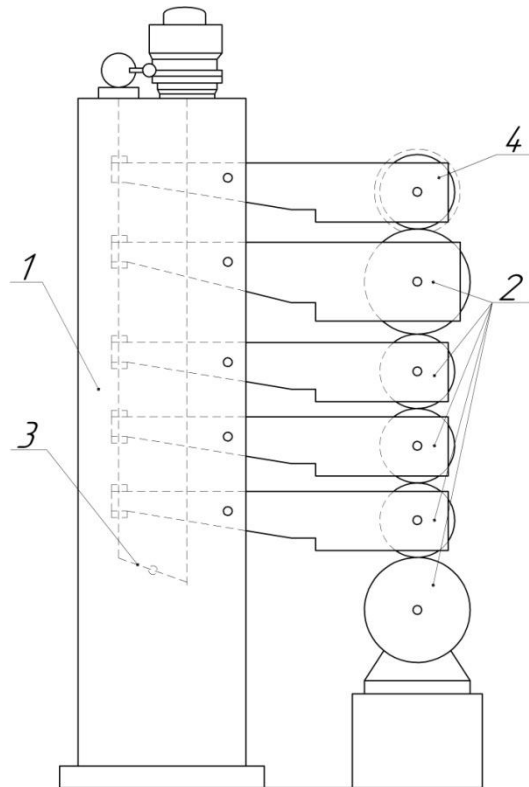
1 – сіткова частина; 2 – пресова частина;  
3 – сушильна частина; 4 – каландр; 5 – накат.

Рисунок 1.1 – Схема плоскосіткової КРМ

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

Подальше зневоднення картонного полотна відбувається в сушильній частині машини, де за рахунок контакту з нагрітою поверхнею полотна висушується.

Висушене картонне полотно з сушильної частини, за допомогою канатикової та повітряної заправок, передається на каландр машинний (рисунок 1.2). Картон, заправляється між верхніми валами каландра, послідовно проходить між всіма валами при поступово зростаючому лінійному тиску.



1 – станина; 2 – металеві вали; 3 – механізм притискання і піднімання валів;

4 – вал з пористим покриттям зовнішньої поверхні полімерним

Рисунок 1.2 – Схема каландра для вигладжування полотен крейдованих волокнистих матеріалів

Вигладжене полотно на каландрі передається на накат, де воно безперервно намотується на тамбурні вали в рулони, які після досягнення заданого діаметра відрізаються та забирається підйомним механізмом.

Покриття картону крейдовою пастою може бути зроблено одноразово або багаторазово. Дворазове покриття, як правило, відбувається в два етапи: спочатку

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15

шар наноситься на вбудованій в КРМ крейдувальній установці, а потім на окремому крейдованому обладнанні.

Крейдування підрозділяється на легке, повне і лите. При різних видах обробки не тільки варіюється кількість крейдованої пасти, що наноситься, але і змінюється характер її проникнення в структуру паперового полотна. Глибина проникнення може бути як значною, так і невеликою.

Маса першого шару, що наноситься безпосередньо на КРМ, невелика від 4 до 6 г/м<sup>2</sup>. Маса другого шару, який наноситься в крейдувальній установці, знаходиться в межах – 20-25 г/м<sup>2</sup> (іноді до 40 г/м<sup>2</sup>). При шаберному крейдуванні надлишок пасти віддаляється гнучким ножом (шабером), а при литому шар напильюється за допомогою форсунок, що забезпечує більш рівномірне нанесення пасти на картонне полотно.

Пристрої для крейсування і каландрування включають до складу сушильної частини КРМ. Основна пересила тяжіння таких конструктивних рішень полягає в істотній економії виробничих площ.

Включення установок для крейдування до складу КРМ стало можливим після розробки валкового пристрою плівкового типу, за допомогою якого покривну пасту наносять одночасно на обидві сторони картонного полотна при збереженні контурного профілю картону. Нові конструкції крейдувальних пристроїв мають два вала, до кожного з яких примикає дозуючий вал, що обертається зі швидкістю, що відрізняється від швидкості наносного вала, завдяки чому в плівці нанесеного покривного складу виникають зусилля зсуву, що забезпечують стабільність плівки при високій швидкості.

## 1.2 Вибір типу каландру та його місце в технологічній схемі

Каландр машинний застосовується на картонно-паперових комбінатах для вигладжування картону і призначений для досягнення необхідних показників гладкості, щільності, об'ємної маси й рівномірної товщини по ширині картонного полотна [1].

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

Конструкція каландру має шість валів. Картон, заправляється між верхніми валами каландра, послідовно проходить між всіма валами при поступово зростаючому лінійному тиску. Заправка виконується комбінованою автоматичною системою, яка складається з канатикової та повітряної заправок.

Каландр має механізм піднімання і притискання валів, який служить для забезпечення необхідного лінійного тиску між валами, а також для підйому батареї валів (крім нижнього).

Конструкція приводного вала складається з чавунного суцільного циліндра та двох цапф, одна з яких приводна. Верхній вал виконаний з пористим покриттям зовнішньої поверхні полімерним матеріалом, що забезпечує відсутність налипання крейдованих волокон до робочої поверхні валу. Нижній вал та вал що розташований нижче першого виконані з гідропідтримкою оболонки, що дозволяє збільшити лінійний тиск між ними.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



## 2 Технічна характеристика каландра крейдованого картону

Технічні характеристики наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика каландра крейдованого картону.

Найменування показника	Розмірність	Величина
Обрізна ширина картону	м	4,2
Гладкість	с	60
Максимальний лінійний тиск	кН/м	200
Швидкість машини	м/с (м/хв)	7,83 (470)
Кількість валів	шт	6
Діаметри валів	м	
з гідропідтримкою оболонки		0,65
приводного		0,6
проміжних		0,4
Приводних валів	шт	1
Валів з гідропідтримкою оболонки	шт	2
Ширина робочої частини валів	м	4,25
Довжина між опорами	м	5,5
Потужність	кВт	560
Габаритні розміри	м	
довжина		3,96
ширина		9,61
висота		5,126
Маса	кг	88560

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції

#### 3.1 Конструкція та принцип дії каландра, основних складальних одиниць та деталей

Каландр (рисунок 3.1) [2] складається з шістьох валів, а саме: верхнього з пористим покриттям зовнішньої поверхні полімерним матеріалом 15 двох валів з гідропідтримкою оболонки 1, приводного валу 2 та двох проміжних валів 3, які за допомогою важелів 7 шарнірно закріплені на односторонній станині 4.

Станина з лицьової та привідної сторони машини в нижній та верхній частинах з'єднана між собою поперечними зв'язками. Станина має замкнутий коробчастий переріз, що забезпечує високу жорсткість.

Картон, заправляється між верхніми валами каландра, послідовно проходить між всіма валами при поступово зростаючому лінійному тиску. Заправка виконується комбінованою автоматичною системою, яка складається з канатикової та повітряної заправок.

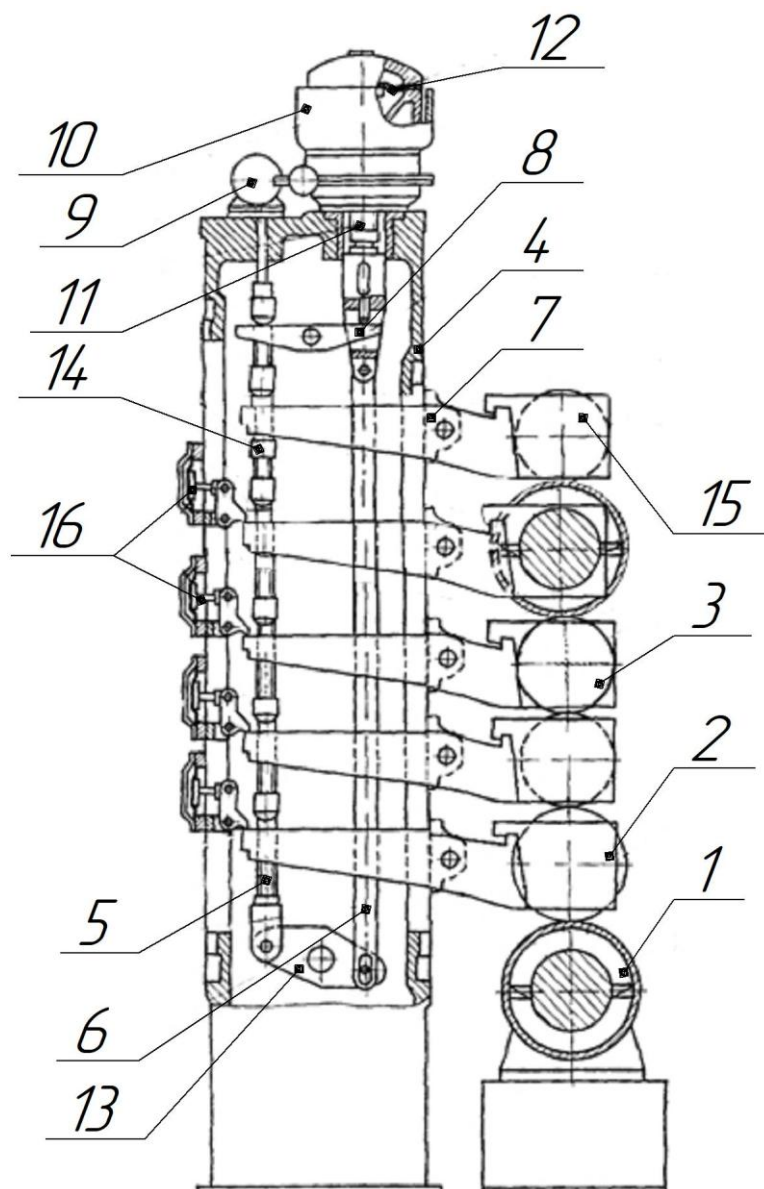
Для заправки, між сушильною частиною та каландром, з лицьового боку встановлений напрямний стальний лист. Спеціальним ножем, встановленим у сушильній частині, обрізається смужка картону. За допомогою повітряних сопел смужка заправляється між двома валиками канатикової заправки, яка заправляється між двома верхніми валами. Канатиковою заправкою смужка проводиться між всіма валами каландра. Потім смужка, яка заправляється за допомогою ножа, який переміщується поперек машини, доводиться до повної ширини полотна.

Каландр має механізм піднімання і притискання валів, який служить для забезпечення необхідного лінійного тиску між валами, а також для підйому батареї валів (крім нижнього).

Для притискання валів подаємо під тиском повітря в притискач діафрагмовий 12, який штоком діє на коромисло 8 і здійснює притискання валів один до одного. За допомогою черв'ячного мотор-редуктора 9 крутний момент, через черв'ячний редуктор 10, передається на гвинт підйому валів 11. Через

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

з'єднувальну тягу 6 та нижнє 13 коромисло, зусилля передається на тягу підйому і притискання валів 5. За допомогою упор 14, які нагвинчуються на тягу 5, піднімаємо вали.



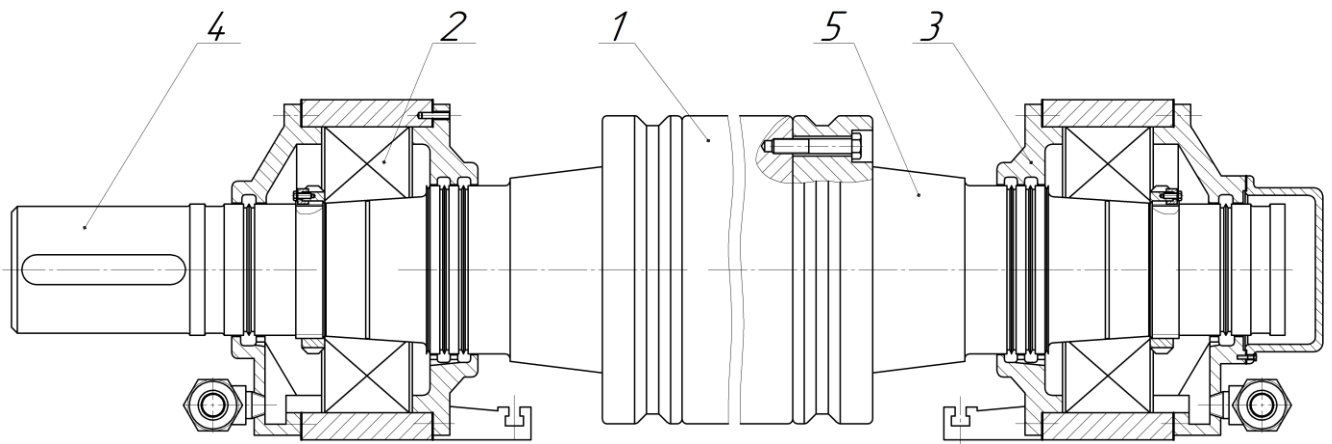
1 – вал з гідропідтримкою оболонки; 2 – вал приводний; 3 – вал проміжний;  
 4 – станинна; 5 – тяга підйому і притискання валів; 6 – тяга з'єднувальна;  
 7 – важіль валу; 8 – коромисло верхнє; 9 – електродвигун механізму підйому валів;  
 10 – черв'ячний редуктор механізму підйому валів; 11 – гвинт підйому валів;  
 12 – притискач діафрагмовий; 13 – коромисло нижнє; 14 – упори підйому та притискання валів;  
 15 – вал з покриттям полімерним матеріалом;  
 16 – діафрагмовий механізм вилегчування валів

Рисунок 3.1 – Конструкція каландра машинного

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

Механізм вилегчування 16 призначений для екстреного піднімання валів у разі обриву полотна чи попадання, в захват між валами, сторонніх предметів, що призводить до інтенсивного зношування валів.

Конструкція приводного вала (рисунок 3.2) складається з чавунного суцільного циліндра та двох цапф, одна з яких приводна.



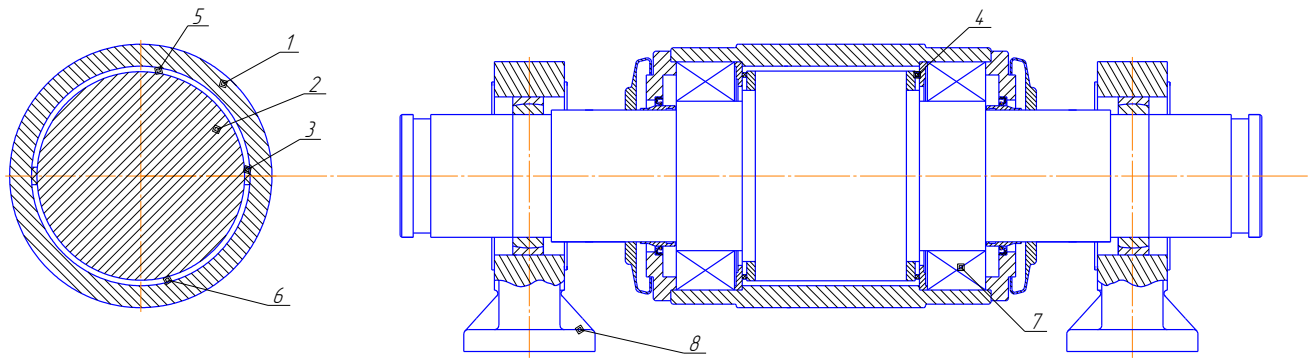
1 – циліндр; 2 – підшипники; 3 – корпус підшипникового вузла;  
4 – приводна цапфа; 5 – цапфа

Рисунок 3.2 – Приводний вал

Вал, що розташований під верхнім та нижнім вали виконані з гідропідтримкою оболонки, що дозволяє збільшити лінійний тиск між ними. Ці вали (рисунок 3.3) складаються з оболонки 1 та сердечника 2, у кільцевому просторі між якими розміщені поздовжні 3 та торцеві 4 ущільнення, поділяючи кільцевий простір на дві камери. Сорочка вала обертається, біля своїх торців спирається на нерухомий сердечник за допомогою роликів радіально-сферичних підшипників 7. Між сорочкою та сердечником знаходяться робоча камера 5, до якої подається робоче середовище (мастило) та дренажна камера 6, з якої мастило відводиться .

Нерухомий сердечник, монтується в опорах 9 на сферичних втулках 8, що забезпечує можливість кутового переміщення сердечника при його вигині. Торцеве ущільнення монтується в пазах опорної втулки та утримується стальними закладними кільцями.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21



1 – оболонка; 2 – сердечник; 3 – поздовжнє ущільнення; 4 – торцеве ущільнення;  
5 – робоча камера; 6 – дренажна камера; 7 – радіально сферичний підшипник;  
8 – опора з сферичною втулкою

Рисунок 3.3 – Вал з гідропідтримкою оболонки

Поздовжні ущільнення розташовані в пазах сердечника та притискаються до внутрішньої поверхні оболонки стрічковою пружиною. Остання також кріпиться в поздовжній паз сердечника. В ущільнюючі планці передбачені отвори для циркуляції мастила в процесі роботи вала. Мастило надходить під тиском в робочу камеру вала через канали сердечника. Також передбачені канали для відведення з дренажної камери мастила, яке пройшло через ущільнення.

Для забезпечення рівномірного лінійного тиску, робочий тиск в камері не повинен перевищувати 0,2 – 0,4 МПа.

Мастило надходить безперервно, завдяки чому тиск мастила підтримується на необхідному рівні та компенсується його втрата через допоміжну циркуляцію, яка використовується з метою регулювання та стабілізації температури оболонки.

Постійний перепад тиску мастила між робочою та дренажною камерами створюється системою автоматичного регулювання.

У зв'язку з тим що нижній вал має регульований прогин (сердечник нерухомий), приводним є другий знизу вал. Він, за допомогою карданного вала з'єднаний з редуктором та електродвигуном. Використання карданного вала дало можливість підіймати та опускати вал.

Верхній вал виконаний з пористим покриттям зовнішньої поверхні полімерним матеріалом, що забезпечує відсутність налипання крейдованих

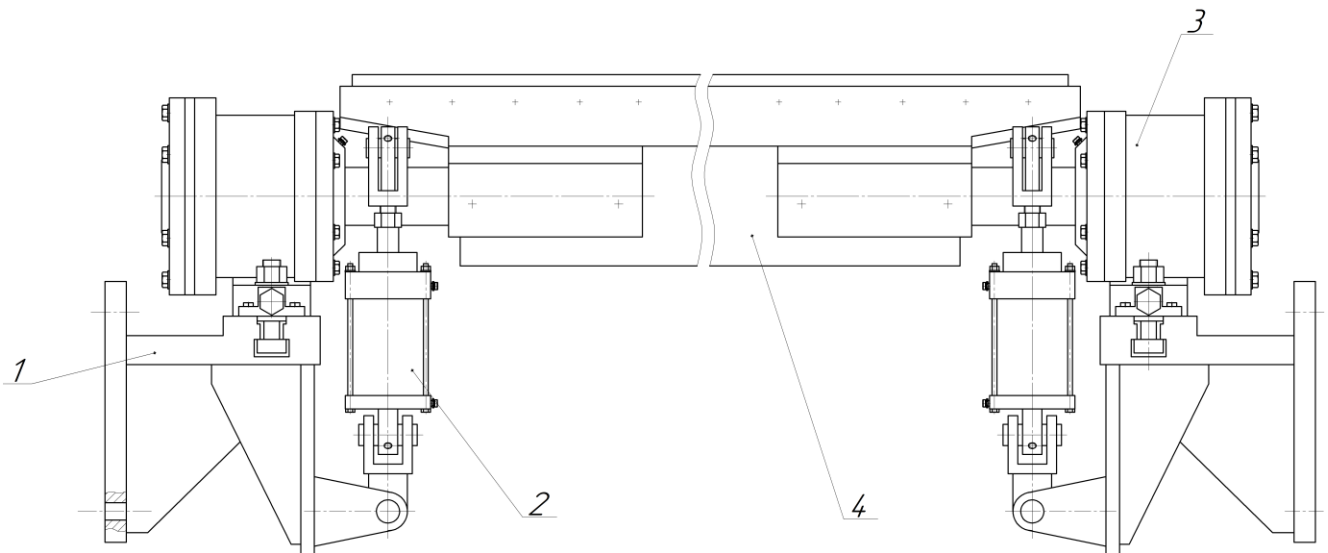
					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

волокон до робочої поверхні валу

Ефективність дії каландра на картон в значній мірі залежить від його вологості. Холодильні циліндри в сушильні частині підвищують вологість картону перед надходженням його до каландру на 1-2,5 %, що покращує якість каландрування.

При каландруванні частина механічної енергії переходить в теплову та виділяється значна кількість тепла. У зв'язку з цим вологість картону на каландрі зменшується, а з нею знижується ступінь дії каландра на картон. Для відведення тепла передбачене повітряне охолодження нижнього та проміжних валів. Обдувається та частина вала, яка не охоплюється картоном.

На кожному валу встановлений шабер. Шавери прикріплені до підшипникових опор, що дозволяє шаберу переміщуватись разом з валом. Усі шавери мають зворотньо-поступальний рух уздовж осі вала, який забезпечується пневматичним механізмом. Є можливість одночасного включення та відключення всіх шаберів, крім нижнього (рисунок 3.4), а також незалежного включення та відключення кожного шабера окремо.



1 – кронштейн; 2 – пневмоциліндр; 3 – пневмокамера; 4 – шаберна колодка

Рисунок 3.4 – Нижній шабер

При зупинці каландра всі вали, (крім нижнього) необхідно підняти, інакше неминуче виникнення залишкової деформації на площадках контакту валів.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

### 3.2 Вибір та обґрунтування матеріалів конструкції

Вали каландра повинні мати високу границю втоми, оскільки вони піддаються багаторазово повторюваному змінному навантаженню. Тому металічні вали повинні бути виготовлені з матеріалу, який має підвищену зносостійкість при твердості поверхні не менше 300НВ. Враховуючи не агресивність робочого середовища валів та відносно не велику вологість картону, вибираємо матеріал Сталь 35Х ГОСТ 4543-71, що задовольняє проведеним розрахункам. Робочу поверхню верхнього валу покриваємо поліуретаном. Внаслідок чого забезпечується відсутність налипання крейдованих волокон, підвищується стійкість до деформації і корозії, а також зменшується шум при роботі каландра.

У разі зношування робочої поверхні валу з поліуретану, можна відновити контактний шар, не вдаючись до демонтажу деталі. Завдяки цьому забезпечується економія сил і засобів на технічне обслуговування.

Ножі шаберів приводного та проміжних валів виготовлені з прокатної фосфористої бронзи, а верхнього та нижнього – сталі марки Сталь 25 ГОСТ 1051-73, що забезпечую необхідну твердість (170 НВ).

Для осей механізму піднімання та опускання валів обираємо Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, яка за результатами розрахунків, задовольняє умові міцності.

Тяги механізму піднімання та опускання валів виготовляємо зі Сталь 20 ГОСТ 1051-73, яка за результатами розрахунків, задовольняє умові міцності.

Важелі валів виготовляємо з ливарної сталі 35Л ГОСТ 977-75, яка за результатами розрахунків, задовольняє умові міцності.

### 3.3 Порівняння основних показників вибраної конструкції з аналогами

Модернізація каландра крейдованого картону полягає в заміні верхнього вала зі звичайного на вал з пористим полімерним покриттям. При цьому забезпечується відсутність налипання волокон до робочої поверхні верхнього валу, що підвищує якість одержаної продукції та зменшує вірогідність обривів.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

Проведемо порівняння розроблюваної конструкції з аналогами, основні характеристики яких наведені в таблиці 3.1.

Порівняння проводимо з базовою конструкцією 1 [2] (рисунок. 3.5) та базовою конструкцією 2, фірми "ПетрозаводскМаш" [2] (рисунок. 3.6).

Таблиця 3.1 – Основні показники модернізованої та базових конструкцій.

Показники	Конструкція		
	Модернізована	Базова 1	Базова 2
Кількість валів, шт.	6	6	6
Лінійний тиск, кН/м	200	120	120
Обрізна ширина картону, м	4,2	4,2	4,2
Наявність валів з регульованим прогином	Є	Є	Є
Наявність валу з покриттям пористим полімерним матеріалом	Є	Немає	Немає
Наявність валів з бомбуванням	Немає	Є	Є
Вали з гідропідтримкою оболонки, шт.	2	1	1
Можливість використання для іншого лінійного тиску	при будь-якому тиску, який не перевищує максимального	при будь-якому тиску, який не перевищує максимального	при будь-якому тиску, який не перевищує максимального
Приводний вал	другий	другий	перший
Потужність приводу, кВт	400	315	355
Маса не більше, кг	88560	88000	86700

Основними недоліками базової конструкції 1 (рисунок. 3.5) є:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		25



— наявність валів з бомбуванням, що не уможливлює зміну профілю вала в процесі роботи, а тому не дозволяє змінювати лінійний тиск в захваті валів та обмежує асортимент випускаємої продукції;

— незадовільна гладкість полотна після каландрування, що примушує проводити додаткове каландрування на суперкаландрі, в результаті чого значно зростають енергозатрати;

велика кількість обривів полотна, що призводить до втрати готової продукції.

Основними недоліками базової конструкції 2, фірми "ПетрозаводскМаш" (рисунок 3.6) є:

— наявність валів з бомбуванням, що не уможливлює зміну профілю вала в процесі роботи, а тому не дозволяє змінювати лінійний тиск в захваті валів та обмежує асортимент випускаємої продукції;

— незадовільна гладкість полотна після каландрування, що примушує проводити додаткове каландрування на суперкаландрі, в результаті чого значно зростають енергозатрати;

— вал з регульованим прогином використовується в якості приводного вала, що потребує використання спеціальної трьохкільцевого підшипника і муфти.

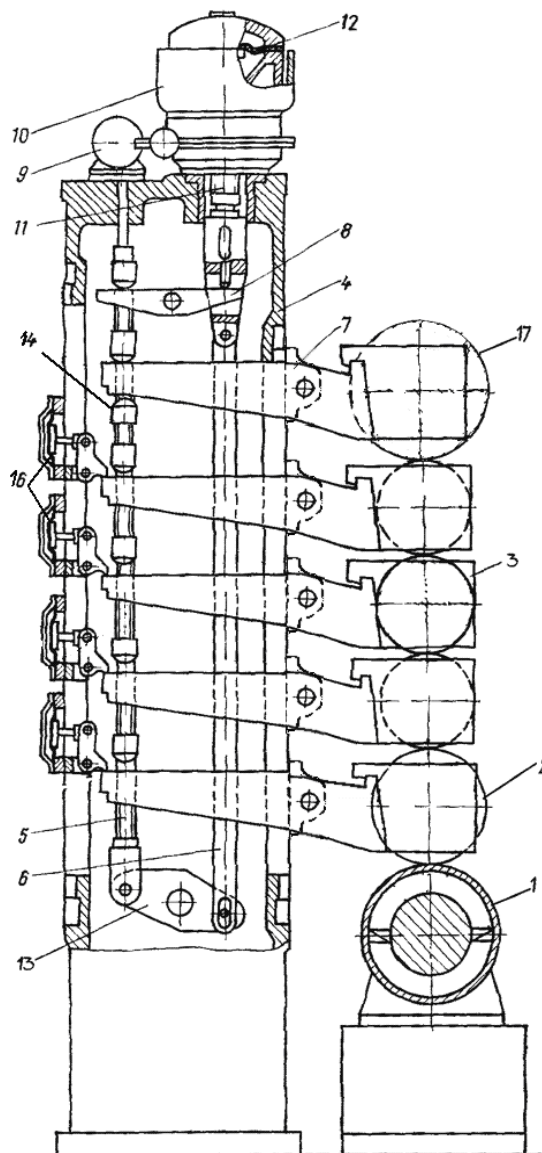
Порівняно з базовими, модернізована конструкція каландра має такі переваги:

— забезпечується відсутність налипання волокон до робочої поверхні верхнього валу, що підвищує якість одержаної продукції та зменшує вірогідність обривів, за рахунок валу з покриттям зовнішньої поверхні пористим полімерним матеріалом.

— забезпечує рівномірний тиск між валами каландру, за рахунок застосування валів з гідропідтримкою оболонки;

— швидка зміна режиму роботи каландра, за рахунок зміни тиску мастила в камері та зміни сили притискання;

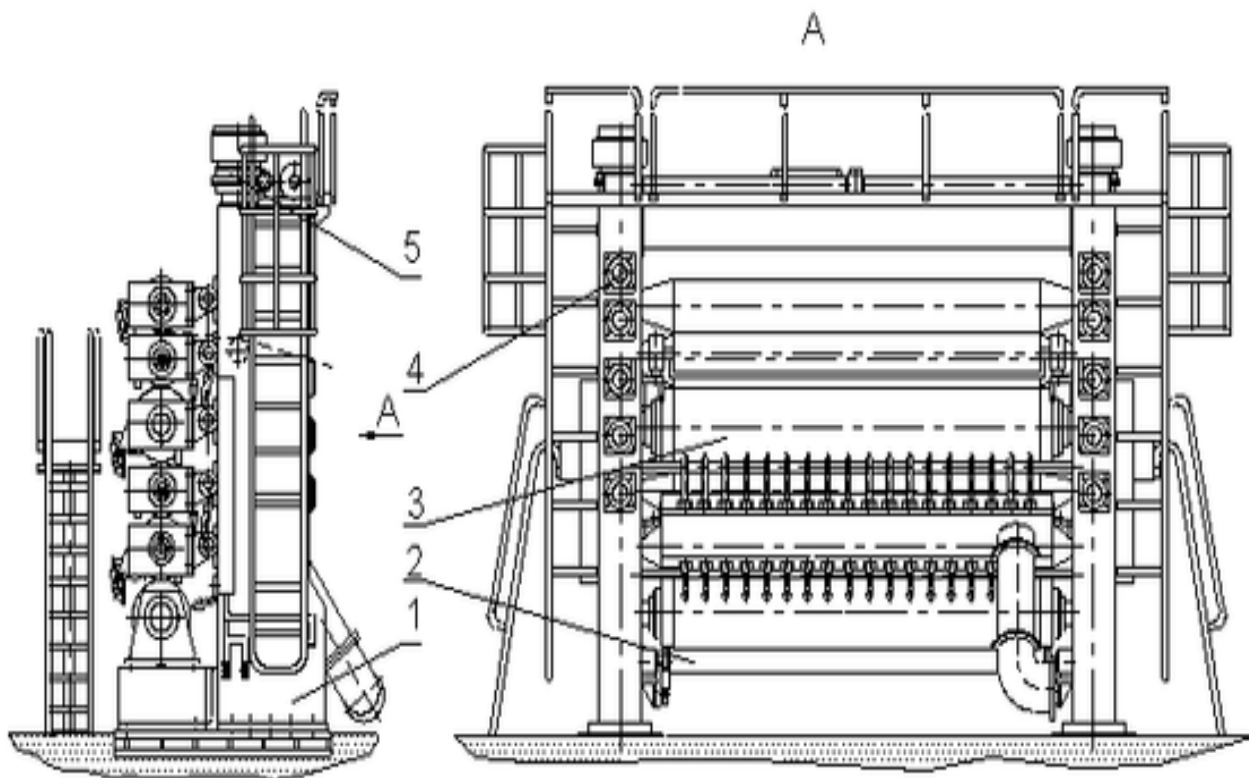
					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – вали з гідропідтримкою оболонки; 2 – вал приводний; 3 – вал проміжний; 4 – станинна; 5 – тяга підйому й притискання валів; 6 – тяга з'єднувальна; 7 – важіль валу; 8 – коромисло верхнє; 9 – електродвигун механізму підйому валів; 10 – черв'ячний редуктор механізму підйому валів; 11 – гвинт підйому валів; 12 – притискач діафрагмовий; 13 – коромисло нижнє; 14 – упори підйому та притискання валів; 16 – діафрагмовий механізму вилегчування валів, 17 – вал верхній.

Рисунок 3.5 – Базова конструкція каландра 1

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27



1 – станина; 2 – шабер; 3 – вал з корпусами підшипників; 4 – механізм вилегчування валів; 5 – механізм притискання та підйому валів.

Рисунок 3.6 – Базова конструкція 2, фірми "ПетрозаводскМаш"

- має найбільший лінійний тиск в нижньому захваті, що дозволяє розширити асортимент випускаємої продукції, за рахунок отримання картону більшої щільності;
- заміна звичайних суцільних валів на вали з гідропідтримкою оболонки, дозволила відмовитись від бомбування проміжних валів, що спростило виготовлення конструкції;
- в валах з гідропідтримкою оболонки застосовується додаткова циркуляція мастила з метою регулювання і стабілізації температури оболонки вала, що покращує умови каландрування;
- досягаються необхідні показники якості без застосування суперкаландра, в результаті чого зменшились сумарні витрати енергії на каландрування.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		28

### 3.4 Патентний огляд конструкцій каландрів

В проекті розроблено конструкцію каландру крейдованого картону КРМ.

Предмет пошуку – 1) каландр машинний КРМ; 2) конструкція і матеріал валів з гідропідтримкою оболонки і проміжних валів; 3) механізм підймання і притискання валів.

Об'єктом пошуку є винаходи й корисні моделі.

Мета пошуку інформації - визначення патентоспроможності проектованого апарата й визначення тенденцій розвитку даного напрямку в техніці.

Встановлюємо такі держави пошуку: Російська Федерація, СРСР, США, Великобританія.

Ретроспективність. Термін дії патенту на винахід в Україні – 20 років, патенту на корисну модель – 6 років. Тому регламент пошуку встановлюємо в межах 1998 – 2018 рр.

Класифікаційні індекси:

- міжнародна патентна класифікація: МПК4, МПК5, МПК6 і МПК7 - D21F1/32, D21F5/02,5/03, F21G3/00;
- уніфікована десяткова класифікація: УДК 676.024.16, 676.024.17.

Джерела інформації:

- патентна інформація: описи до винаходів, офіційні патентні бюлетні Держпатенту України, Роспатенту й Госпатенту СРСР;
- науково-технічна інформація: підручники й навчальні посібники з курсу папероробні, картоноробні та спеціальні машини.

Суттєвими ознаками апарата є: проміжні та вали з гідропідтримкою оболонки, станина.

Початок пошуку 01.10.2018 р. Закінчення пошуку 10.10.2018 р.

Усі відмінності по патентам та джерелам пошуку наведені у Додатку Б.

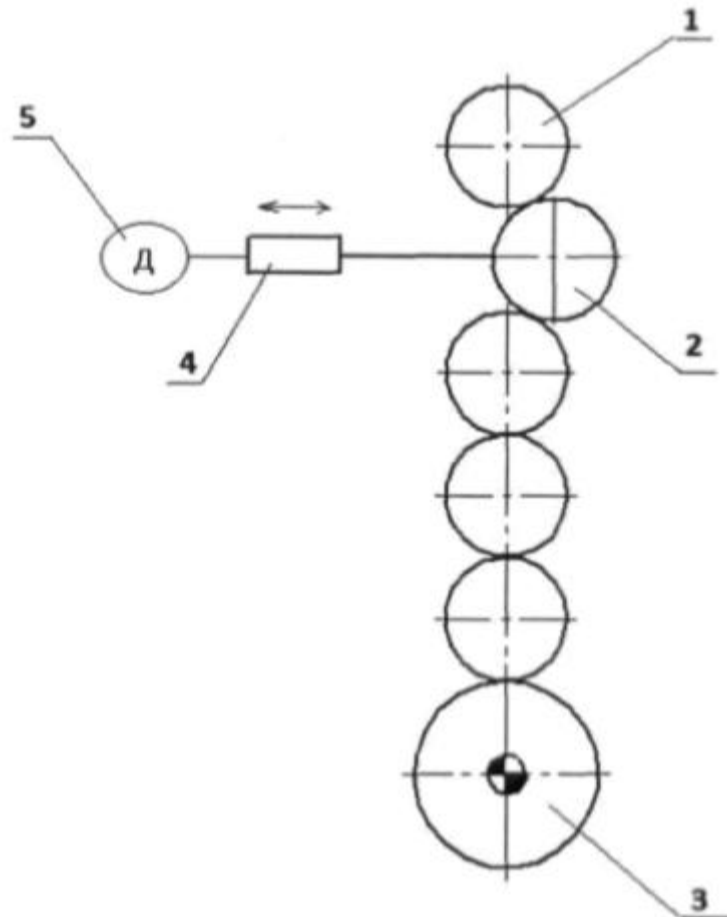
У патенті на корисну модель України [3] авторами розроблено каландр машинний (рисунок 3.7), що містить чавуні вали, які контактують один з одним; привід для обертання нижнього вала та механізму притискання. Каландр

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		29

відрізняється тим, що містить горизонтальний ходовий гвинт з електродвигуном, який забезпечує зміщення вала.

Перевагою такої конструкції є можливість збільшення зусилля притискання, що позитивно відображається на якості каландрування.

Недоліком є складність конструкцію та підвищені осьові навантаження на притискний валок.



1 – верхній вал; 2 – середній валок; 3 – нижній вал; 4 – ходовий гвинт;

5 – електродвигун

Рисунок 3.7 – Схема машинного каландра

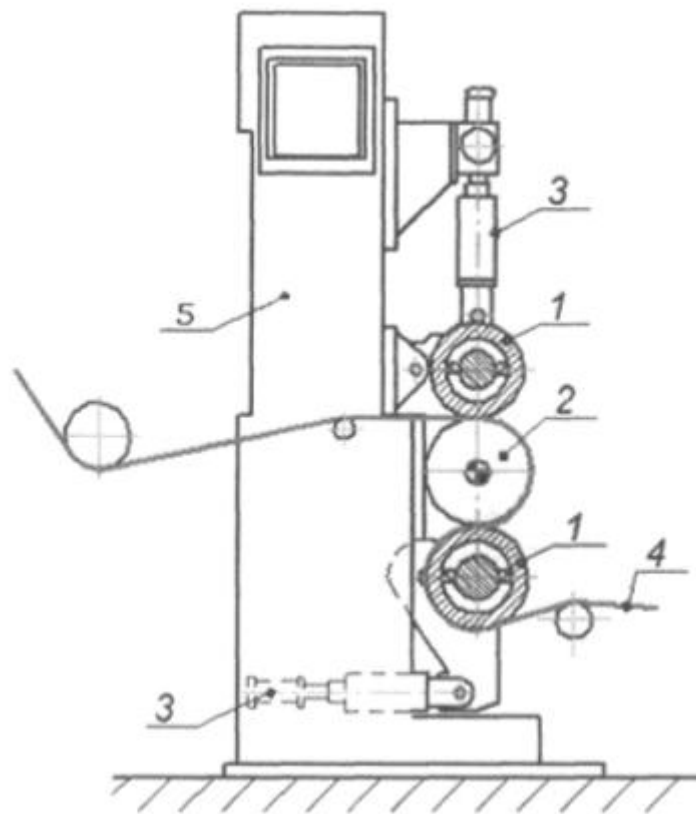
У патенті на корисну модель України [4] авторами розроблено каландр машинний (рисунок 3.8), що містить три притискних вала, два механізмів притискання валів, привід із черв'ячним редуктором. Каландр відрізняється тим, що має три вали, два з яких мають гідропідтримку оболонки, а третій – трубчатий,

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

які розміщені в одній вертикальній площині на станин, а також середній трубчатий вал має привід, а нижній і верхній вали із гідропідтримкою оболонки притискаються механізмом притискання до середнього трубчатого вала і обертаються за рахунок сил тертя.

Перевагою такої конструкції є малі енерговитрати та мала металоємність.

Недоліком конструкції є не надійний механізм вилегшування валів.



1 – вали з гідро підтримкою оболонки; 2 – приводний вал; 3 – механізми притискання; 4 – полотно; 5 – станина

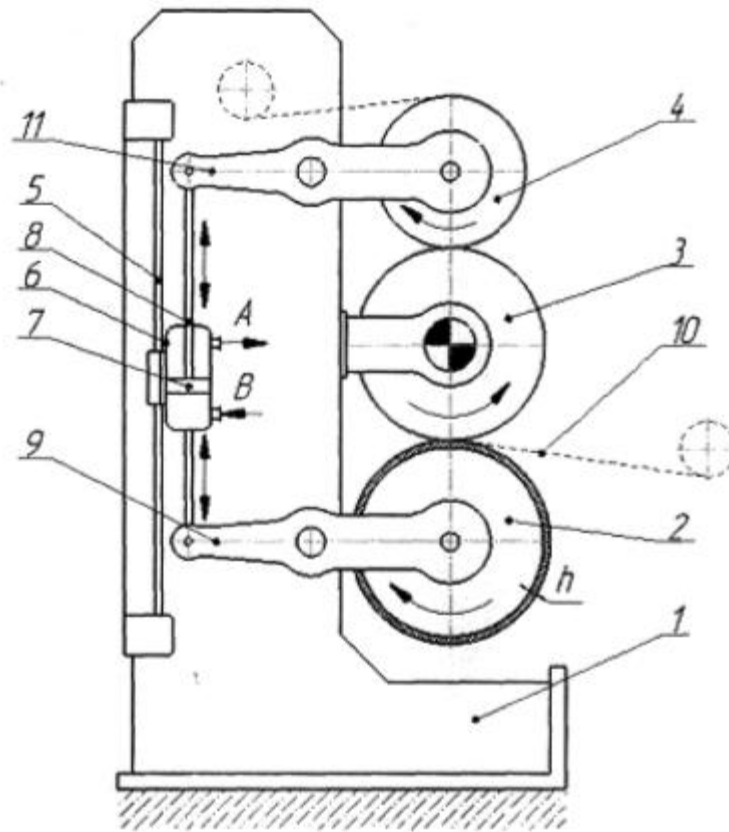
Рисунок 3.8 – Схема каландра машинного

У патенті на корисну модель України [5] авторами розроблено каландр машинний (рисунок 3.9), що містить центровий привідний вал та два вали, розташовані зверху та знизу привідний вал які закріплені до важелів, з'єднаних з гідроциліндром. Конструкція відрізняється тим, що поверхня нижнього вала покрита гумою, а кінці важелів верхнього і нижнього валів з'єднані з гідроциліндром, що закріплений до станини з можливістю переміщення.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

Перевагою такої конструкції є інтенсифікація процесу каландрування, зменшення енергозатрат і підвищення технічних властивостей полотна, а саме гладкість, міцність, щільність.

Недоліком є нагрівання гумованого валу під час роботи.



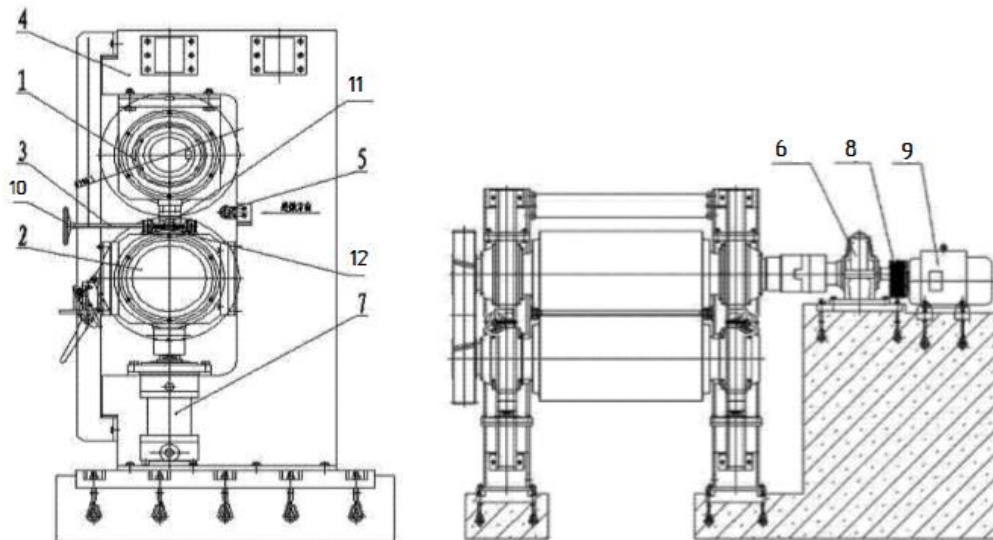
- 1 – станина; 2 – нижній вал; 3 – приводний вал; 4 – верхній вал;  
 5 – направляюча рейка; 6 – гідроциліндр; 7 – поршень; 8 – шток;  
 9 – нижній важіль; 10 – полотно; 11 – верхній важіль

Рисунок 3.9 – Схема каландра машинного

У патенті КНР [6] авторами розроблено каландр високого тиску (рисунок 3.10), що містить верхній вал та нижній вал, раму важіль безпеки, привід, гідравлічну станцію. Конструкція відрізняється тим, що шабер установлений на верхньому валу, а нижній вал з'єднаний з гідравлічним притискним пристроєм

Перевагою є рівномірне розподілення навантаження по всій довжині вала, а також мала металоємність.

Недоліком є підвищені затрати на притискання.



- 1 – верхній вал; 2 – нижній вал; 3 – шабер; 4 – рама; 5 – важіль безпеки;  
6 – редуктор; 7 – гідравлічний привід; 8 – муфта; 9 – електродвигун;  
10 – маховик; 11 – черв'ячне колесо

Рисунок 3.10 – Схема каландра високого тиску

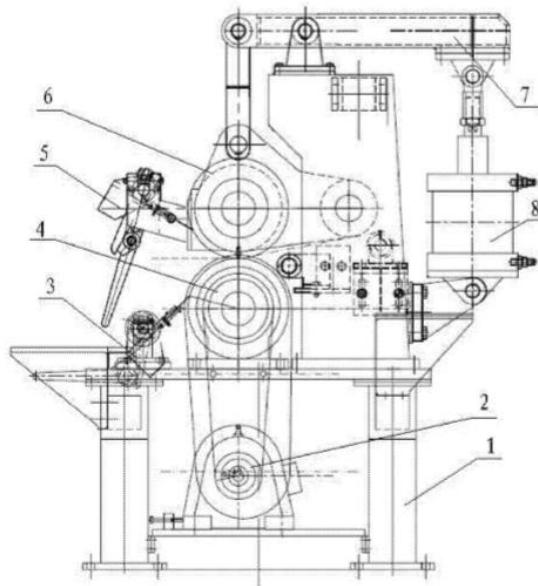
У патенті КНР [7] авторами розроблено двох валовий каландр (рисунок 3.11), що містить раму на якій закріплені механізм притискання, верхній і нижній вал, 2 шабери та система повітряного стиснення. Каландр відрізняється тим, що верхній і нижній вал має систему електричного нагрівання.

Пересила тяжіннями такої конструкції є висока якість одержаної продукції, рівномірна товщина картонного полотна вздовж його ширини а також мала металоємність.

Недоліком є складність виготовлення та обслуговування валів.

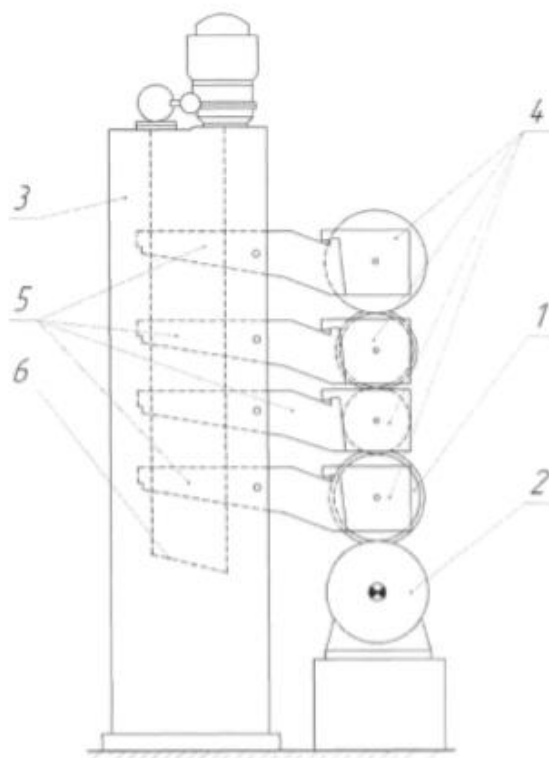
У патенті на корисну модель України [8] авторами розроблено каландр машинний (рисунок 3.12), що містить металеві вали які розташованих у вигляді вертикальної батареї, що контактують один з одним і спираються під дією власної ваги на корінний вал батареї; станини, у яких розміщені корпуси підшипників і важелі валів; привод для обертання нижнього або другого знизу валу; підйомно-притискний пристрій.





1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – нижній шабер; 4 – нижній вал;  
 5 – верхній шабер; 6 – верхній вал; 7 – механізм притискання;  
 8 – системи повітряного стиснення

Рисунок 3.11 – Схема двох валового каландра



1 – батарея валів; 2 – корінний вал; 3 – станини; 4 – корпуси підшипників;  
 5 – важелі валів; 6 – підйомно-притискний пристрій

Рисунок 3.12 – Каландр машинний

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		34

Конструкція відрізняється тим, що вали у вертикальній батареї, починаючи з нижнього і за винятком верхнього, через один, футеруються поліуретаном.

Перевагою конструкції є висока якість одержаної продукції за рахунок рівномірної товщини картонного полотна.

Недоліком є нагрівання поліуретанових валів під час роботи, що потребує значні витрати на їх охолодження.

У результаті проведених патентних досліджень встановлено:

1) модернізований каландр патентоспроможний через те, що:

- модернізована конструкція має оригінальне розташування валів;
- використано вал з пористим полімерним покриттям;

2) провідними державами у галузі папероробного виробництва є: США, Великобританія й Російська Федерація. При цьому запатентовані винаходи й корисні моделі стосуються як каландру КРМ в цілому, так і його окремих вузлів;

3) аналіз патентів дає змогу зробити висновок, що в галузі каландрування полотна за допомогою каландра машинного основні розробки спрямовані на патентування нових конструкцій валів з гідропідтримкою оболонки, станини, а також проміжних валів.

Копії використаних патентів розміщено в додатку Д пояснювальної записки.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 4 Розрахунки що підтверджують працездатність та надійність конструкції

### 4.1 Параметричний розрахунок установки

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.1.

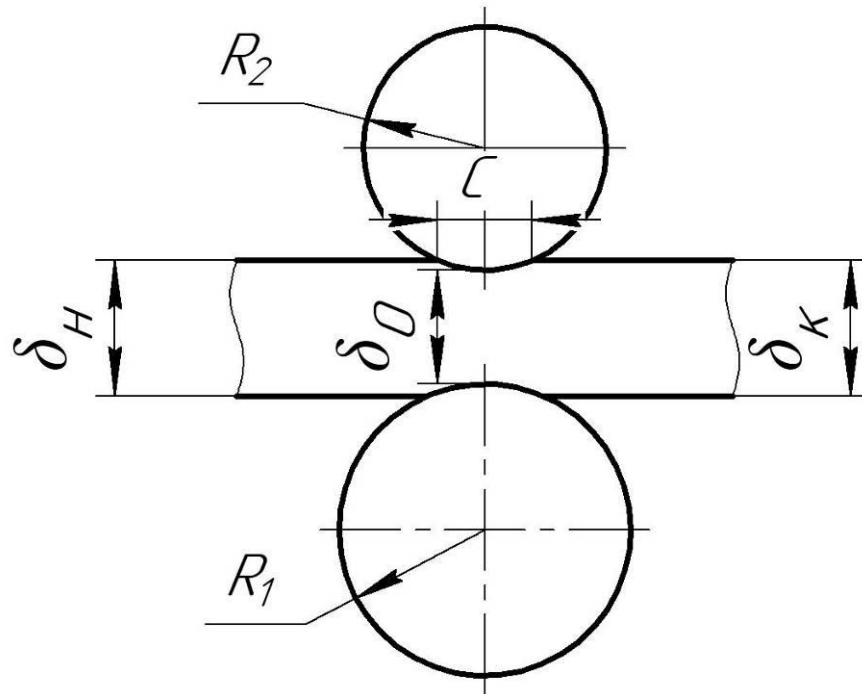


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема ширини площадки деформації

Мета розрахунку: визначення тиску в захваті та ширини площадки деформації в захваті

Вихідні дані:

- робоча швидкість машинного каландра  $v$ , м/с (м/хв) 7,83(470);
- ширина картонного полотна  $B$ , м 4,25;
- маса 1 м<sup>2</sup> абсолютно сухого картону  $g$ , кг/м<sup>2</sup> (г/м<sup>2</sup>) 0,20 (200).

Розрахунок здійснюємо за методикою наведеною в [2].

Продуктивність машинного каландра:

$$G = B \cdot V \cdot g = 4,25 \cdot 7,83 \cdot 0,2 = 6,65 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Тиск в захваті валів каландра машинного ми знаходимо з графічної залежності гладкості картону від тиску при різному захваті валів (рисунок 4.2).

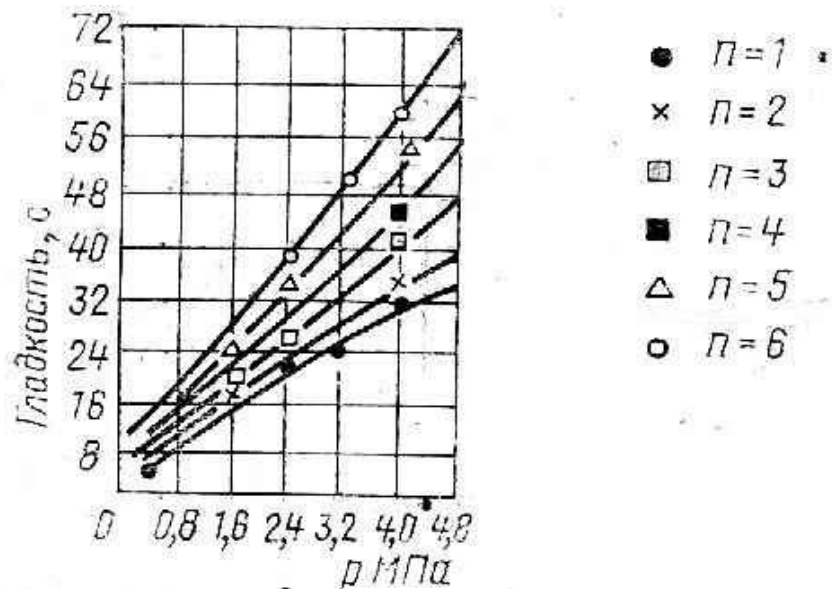


Рисунок 4.2 – Графічна залежність картону від тиску при різному захваті валів

де  $n = 5$  – кількість захватів;

$C = 60$  с – гладкість картонного полотна.

Тоді із даної графічної залежність картону від тиску при різному захваті валів  $P = 4,8$  МПа.

Ширина площадки деформації в захваті:

$$C = C_1 + C_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}} \cdot (\sqrt{\delta_n - \delta_0} + \sqrt{\delta_k - \delta_0}) =$$

$$\sqrt{\frac{2 \cdot 0,325 \cdot 0,3}{0,325 + 0,3}} \cdot (\sqrt{5,5 \cdot 10^{-4} + 4,5 \cdot 10^{-4}} + \sqrt{5 \cdot 10^{-4} - 4,5 \cdot 10^{-4}}) = 0,042 \text{ м.}$$

де  $R_1 = 0,325$  м,  $R_2 = 0,3$  м – радіуси валів;

$\delta_n = 5,5 \cdot 10^{-4}$  м – товщина картону до каландрування;

$\delta_0 = 4,5 \cdot 10^{-4}$  м – товщина картону під час каландрування;

$\delta_k = 5 \cdot 10^{-4}$  м – товщина картону після каландрування;

Розрахунковий тиск в захваті валів:

$$P_p = \frac{q_l}{C} = \frac{250 \cdot 10^3}{0,042} = 5952380,95 \text{ Па} = 5,9 \text{ МПа.}$$

де  $q_l = 250$  кН/м – значення лінійного тиску, яким ми задаємося при заданих параметрах валів [9].

Умова для подальшого проведення розрахунків:

$$P_p = P \pm 0,01$$

Маємо:

$$5,9 \text{ МПа} > 4,8 \text{ МПа.}$$

Умова для подальшого проведення розрахунків не виконується.

Для того, щоб виконувалася умова для подальшого проведення розрахунків, потрібно зменшити значення лінійного тиску. Тоді тиск розрахунковий в захваті валів:

$$P_p = \frac{q_l}{C} = \frac{225 \cdot 10^3}{0,042} = 5357142,85 \text{ Па} = 5,3 \text{ МПа.}$$

де  $q_l = 225 \text{ кН/м}$  – значення лінійного тиску, яким ми задаємося.

Умова для подальшого проведення розрахунків:

$$P_p = P \pm 0,01$$

Маємо:

$$5,3 \text{ МПа} > 4,8 \text{ МПа.}$$

Умова для подальшого проведення розрахунків не виконується.

Для того, щоб виконувалася умова для подальшого проведення розрахунків, потрібно зменшити значення лінійного тиску. Тоді тиск розрахунковий в захваті валів:

$$P_p = \frac{q_l}{C} = \frac{200 \cdot 10^3}{0,042} = 4761904,76 \text{ Па} \approx 4,8 \text{ МПа.}$$

де  $q_l = 200 \text{ кН/м}$  – значення лінійного тиску, яким ми задаємося.

Умова для подальшого проведення розрахунків:

$$P_p = P \pm 0,01$$

Маємо:

$$4,8 \text{ МПа} = 4,8 \text{ МПа.}$$

Умова для подальшого проведення розрахунків виконується.

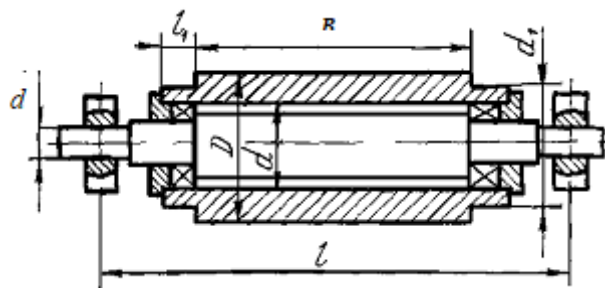
Висновок: визначено тиск в захваті валів, який становить  $P = 4,8 \text{ МПа}$  та ширину площадки деформації в захваті, яка дорівнює  $0,042 \text{ м}$ .

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

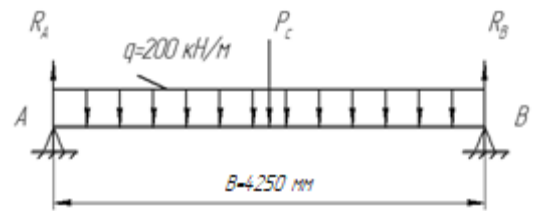
## 4.2 Розрахунок вала з гідропідтримкою оболонки

### 4.2.1 Розрахунок оболонки вала

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.3.



а – Ескіз валу



б – схема навантаження оболонки

Рисунок 4.3 – Ескіз та схема навантаження оболонки

Мета розрахунку: перевірка умови міцності оболонки вала в робочих умовах.

Вихідні дані:

- максимальний лінійний тиск $q_{\text{л}}$ , кН/м	200;
- діаметр вала (зовнішній діаметр оболонки) $D$ , м	0,65;
- внутрішній діаметр оболонки $d$ , м	0,56;
- довжина робочої поверхні оболонки $B$ , м	4,25;
- межа плинності $\sigma_m$ , МПа [10]	490;
- густина матеріалу оболонки вала $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> [10]	7790.

Розрахунок здійснюємо за методикою наведеною в [2].

Небезпечним для оболонки є випадок відсутності тиску в камері валу. Тоді вона може розглядатися як балка на двох опорах, навантажена по довжині прольоту рівномірним навантаженням. Величина цього навантаження дорівнює  $q_{\text{л}} = 200$  кН/м.

Розрахунок сили тяжіння оболонки.

Розраховуємо об'єм робочої частини оболонки:

$$V_1 = B \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) = 4,25 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,65^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,56^2}{4} \right) = 0,363 \text{ м}^3.$$

Об'єм шийок оболонки:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		39

$$V_2 = 2 \cdot l_1 \cdot \left( \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) = 2 \cdot 0,15 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 0,63^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,65^2}{4} \right) = 0,02 \text{ м}^3.$$

де  $l_1 = 0,15 \text{ м}$  – довжина шийки (згідно рисунка 5.3а), м;

$d_1 = 0,63 \text{ м}$  – зовнішній діаметр шийки, м.

Загальний об'єм оболонки:

$$V_c = V_1 + V_2 = 0,363 + 0,02 = 0,383 \text{ м}^3.$$

Визначаємо силу тяжіння оболонки:

$$P_c = g \cdot V_c \cdot \rho = 9,81 \cdot 0,383 \cdot 7790 = 29268 \text{ Н},$$

де  $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$  – прискорення вільного падіння.

Момент опору перетину оболонки:

$$W = 0,1 \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = 0,1 \cdot \frac{0,65^4 - 0,56^4}{0,65} = 12,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Загальна сила тяжіння:

$$P_{\text{заг}} = q_l \cdot B + P_c = 200000 \cdot 4,25 + 29268 = 879268 \text{ Н}.$$

Згинаючий момент оболонки в небезпечному перерізі:

$$M = P_{\text{заг}} \cdot \left( \frac{l_2}{4} - \frac{B}{8} \right) = 879268 \cdot \left( \frac{5,5}{4} - \frac{4,25}{8} \right) = 741882 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $l_2 = 5,5 \text{ м}$  – відстані між опорами сердечника.

Напруження вигину:

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{741882}{12,3 \cdot 10^{-3}} = 60315609 \text{ Па} = 60 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження при вигині [5] :

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{n_\tau} = \frac{490}{5} = 98 \text{ МПа},$$

де  $n_\tau = 5$  – коефіцієнт запасу міцності[2 ].

Перевіряємо умову міцності при вигині:

$$[\sigma] \geq \sigma_p$$

Маємо:

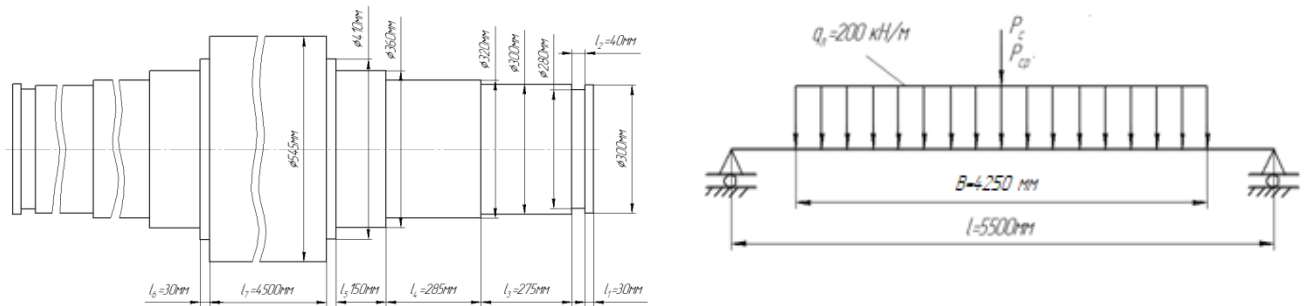
$$98 \text{ МПа} > 60 \text{ МПа}.$$

Висновок: умова міцності виконується.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 4.2.2 Розрахунок сердечника

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.4.



а – Ескіз валу

б – схема навантаження сердечника

Рисунок 4.4 – Ескіз та схема навантаження сердечника

Мета розрахунку: перевірка умови міцності сердечника вала в робочих умовах.

Вихідні дані:

- відстань між опорами сердечника  $l$ , м 5,5;
- довжина робочої поверхні оболонки  $B$ , м 4,25;
- максимальний лінійний тиск  $q_l$ , кН/м 200;
- діаметр сердечника  $d_c$ , м 0,545;
- діаметр цапф сердечника  $d_u$ , м 0,3;
- межа плинності  $\sigma_m$ , МПа [10] 343;
- модуль пружності  $E$ , МПа [10]  $2,2 \cdot 10^5$ ;
- густина матеріалу сердечника вала  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> [10] 7820.

Розрахунок здійснюємо за методикою наведеною в [2].

При роботі вала на його сердечник передається навантаження від тиску мастила в камері. Навантаження на підшипники, на яких сидить оболонка на сердечнику, на порядок менше, тому їх не враховуємо.

Об'єм сердечника:

$$V_{cp} = 2 \cdot \left( L_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} + L_2 \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} + L_3 \cdot \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} + L_4 \cdot \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} + L_5 \cdot \frac{\pi \cdot D_5^2}{4} + L_6 \cdot \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} \right) +$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41



$$+L_7 \cdot \frac{\pi \cdot D_7^2}{4} = 2 \cdot (0,03 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} + 0,04 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,28^2}{4} + 0,275 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} + 0,285 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,32^2}{4} + 0,15 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,36^2}{4} + 0,03 \cdot \frac{3,1 \cdot 0,41^2}{4}) + 4,2 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,545^2}{4} = 1,112 \text{ м}^3,$$

де  $L_i$ , м – довжини ступеней сердечника (рисунок 4.4а);

$D_i$ , м – діаметри ступеней сердечника (рисунок 4.4а).

Сила тяжіння сердечника:

$$P_{\text{ср}} = g \cdot V_{\text{ср}} \cdot \rho = 9,81 \cdot 1,112 \cdot 7820 = 85306 \text{ Н.}$$

Загальна сила тяжіння сердечника:

$$P_{\text{заг}} = q_{\text{л}} \cdot B + P_{\text{с}} + P_{\text{ср}} = 200000 \cdot 4,25 + 29268 + 85306 = 964574 \text{ Н.}$$

Максимальний згинаючий момент посередині сердечника:

$$M = P_{\text{заг}} \cdot \left( \frac{l}{4} - \frac{B}{8} \right) = 964574 \cdot \left( \frac{5,5}{4} - \frac{4,25}{8} \right) = 813859 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент опору сердечника:

$$W = 0,1 \cdot d_c^3 = 0,1 \cdot 0,545^3 = 16,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Напруження згинання:

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{813859}{16,2 \cdot 10^{-3}} = 50238229 \text{ Па} \approx 50 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{n_\tau} = \frac{343}{5} = 68,6 \text{ МПа,}$$

де  $n_\tau = 5$  – коефіцієнт запасу міцності [2].

Перевіряємо умову міцності при згинанні:

$$[\sigma] \geq \sigma_p$$

Маємо:

$$68,6 \text{ МПа} > 50 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Момент інерції сердечника:

$$I = 0,05 \cdot d_c^4 = 0,05 \cdot 0,545^4 = 44,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Максимальний прогин сердечника:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$f_c = \frac{q_l \cdot B^3}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (12 \cdot l - 7 \cdot B) = \frac{200000 \cdot 4.25^3}{384 \cdot 2,2 \cdot 10^{11} \cdot 44,1 \cdot 10^{-4}} (12 \cdot 5,5 - 7 \cdot 4,25) = 1,494 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

Перевіряємо умову жорсткості:

$$\frac{1}{3000} \geq \frac{f_c}{l}$$

Маємо:

$$0,00033 > 0,000272$$

Умова жорсткості виконується.

Висновок: за результатами розрахунку сердечника встановлено, що умови міцності та жорсткості виконуються.

#### 4.2.3 Розрахунок тиску мастила в робочій камері вала

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.5.

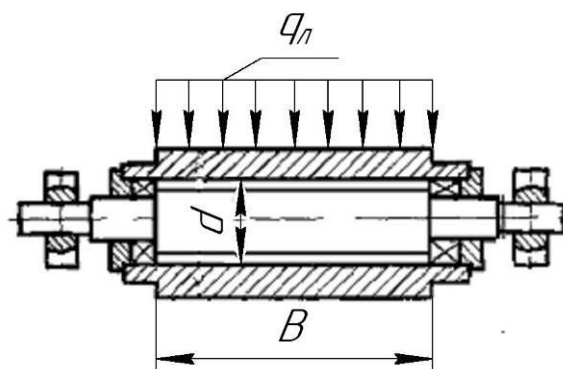


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема визначення тиску в робочій камері вала

Мета розрахунку: визначення тиску в робочій камері вала з гідропідтримкою оболонки, для підтримки оболонки.

Вихідні дані:

- довжина робочої поверхні оболонки  $B$ , м 4,25;
- внутрішній діаметр оболонки  $d$ , м 0,56;
- максимальний лінійний тиск  $q_l$ , кН/м 200.

Розрахунок здійснюємо за методикою наведеною в [2].

Внутрішній діаметр оболонки:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		43

$$R_r = \frac{d}{2} = \frac{0,56}{2} = 0,28 \text{ м.}$$

Площа робочої камери:

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot \pi \cdot R_r \cdot B) = \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 3,14 \cdot 0,28 \cdot 4,25) = 3,737 \text{ м}^2.$$

Тиск мастила в робочій камері:

$$P_m = \frac{q_{\text{л}} + \frac{P_c}{B}}{d} = \frac{200000 + \frac{292688}{4,25}}{0,56} = 480121 \text{ Па} = 0,48 \text{ МПа.}$$

Висновок: в результаті проведення розрахунку було визначено тиск мастила в робочій камері вала, який склав 0,48 МПа.

### 4.3 Розрахунок механізму притискання та піднімання валів

#### 4.3.1 Розрахунок зусилля притискання та визначення діаметру діафрагми

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.6.

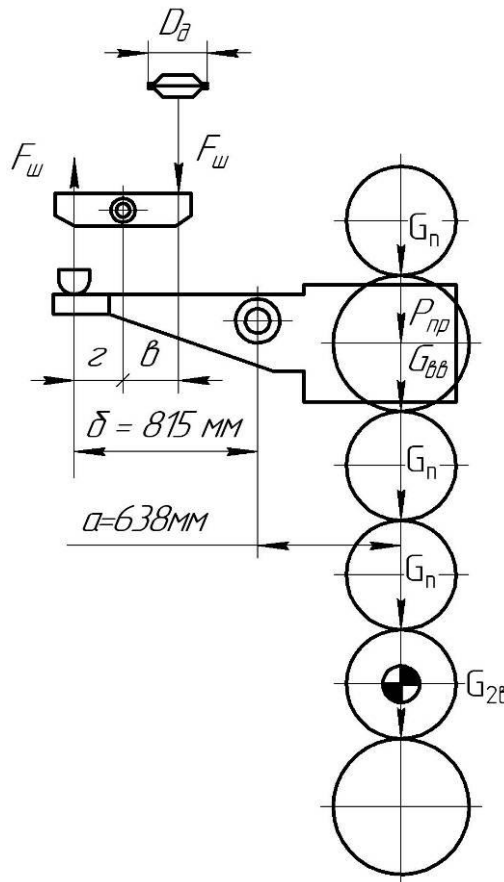


Рисунок 4.6 – Схема притискання валів

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

Мета розрахунку: визначення зусилля притискання та діаметра діафрагми для забезпечення необхідного прижиму валів.

Вихідні дані:

- довжина робочої поверхні вала з гідروпідтримкою оболонки  $B$ , м 4,25;
- максимальний лінійний тиск  $q_l$ , кН/м 200.

Розрахунок здійснюємо за методикою наведеною в [2].

Сила тяжіння валу з гідропідтримкою оболонки:

$$G_{\text{гп}} = P_c + P_{\text{ср}} = 29268 + 85306 = 114574 \text{ Н.}$$

Допоміжне зусилля притискання, необхідне для забезпечення заданого лінійного тиску:

$$P_{\text{пр}} = q_l \cdot B - G_{\text{гп}} - 3 \cdot G_n - G_{2\text{в}} = 200000 \cdot 4,2 - 114574 - 3 \cdot 54180 - 78970 = 483916 \text{ Н.}$$

де  $G_n = 54181 \text{ Н}$  – сила тяжіння проміжного вала;

$G_{2\text{в}} = 78970 \text{ Н}$  – сила тяжіння приводного вала.

Зусилля на штоці, яке повинен забезпечувати механізм притискання:

$$F_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{пр}} \cdot a}{2 \cdot b} = \frac{483916 \cdot 0,638}{2 \cdot 0,815} = 189410 \text{ Н.}$$

Діаметр діафрагми:

$$D_d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ш}}}{\pi \cdot p_{\text{пов}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 189410}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^6}} = 0,7 \text{ м.}$$

де  $p_{\text{пов}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$  – тиск повітря в пневмокамері.

За розрахунковим значенням, приймаємо з запасом  $D_d = 0,8 \text{ м}$ .

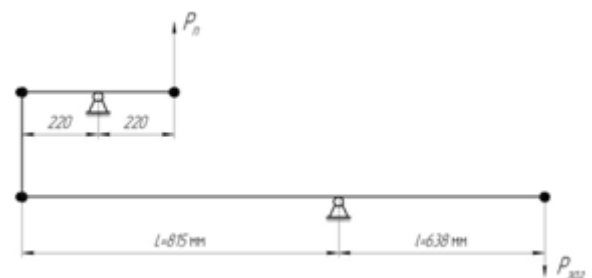
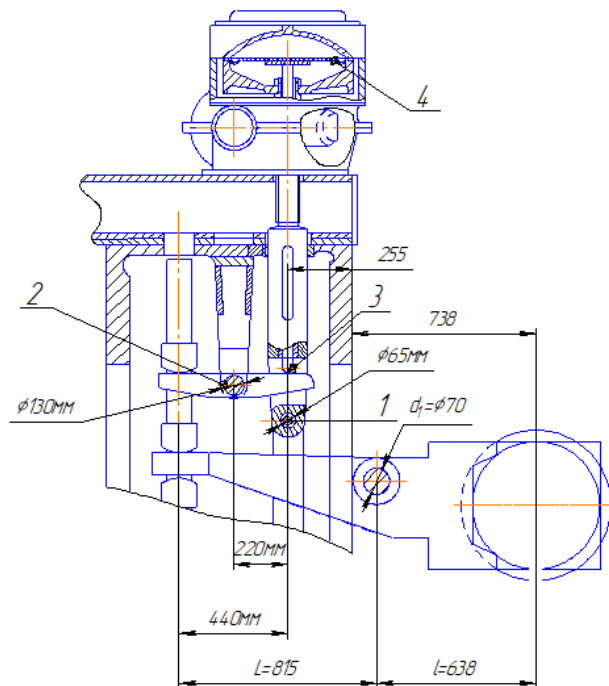
Висновок: в результаті проведення розрахунку було визначено зусилля притискання та діаметр діафрагми, які відповідно склали, 483916 Н та 0,8 м.

#### 4.3.2 Розрахунок механізму піднімання

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.7.

Мета розрахунку: визначення зусилля піднімання валів.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45



а – Механізм піднімання валів

б – розрахункова схема

1 – вісь тяги; 2 – вісь важеля; 3 – шток піднімання;

4 – діафрагма притискання

Рисунок 4.7 – Механізм піднімання валів та розрахункова схема

Вихідні дані:

- сила тяжіння верхнього вала  $G_{\text{вв}}$ , Н 114574;
- сила тяжіння проміжного вала  $G_n$ , Н 54181;
- сила тяжіння приводного вала  $G_{2\text{в}}$ , Н 78970.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [2].

На елементи механізму піднімання діють зусилля від ваги валів, що підіймаються з урахуванням передаточного відношення важелів, до яких кріпляться корпуси підшипників (рисунок 4.7а).

Загальна сила тяжіння валів:

$$P_{\text{заг}} = G_{\text{вв}} + 3 \cdot G_n + G_{2\text{в}} = 114574 + 3 \cdot 54181 + 78970 = 356087 \text{ Н.}$$

Передаточне відношення важелів піднімання валів:

$$i = \frac{L}{l} = \frac{815}{638} = 1,28,$$

де  $L = 815$  мм та  $l = 638$  мм – плечі важелів піднімання валів (рисунок 4.7)

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		46

Зусилля піднімання:

$$P_n = \frac{P_{\text{заг}}}{i} = \frac{356087}{1,28} = 278192 \text{ Н.}$$

На кожну тягу механізму піднімання валів діє зусилля, рівне (рисунок 4.7) половині ваги валів. Вісь (рисунок 4.8, 4.9) сприймає зусилля від важеля, зв'язане з обома тягами, рівне вазі валів що підіймаються, з урахуванням ваги важелів.

Висновок: в результаті розрахунку було визначене зусилля піднімання валів, яке склало 278192 Н.

#### 4.3.3 Розрахунок осі 1 по першому варіанту навантаження

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.8.

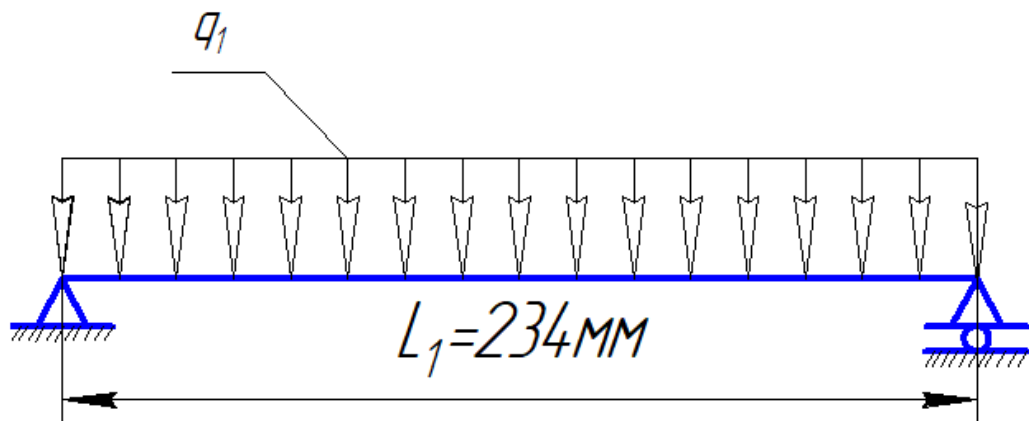


Рисунок 4.8 – Схема навантаження осі

Мета розрахунку: перевірка осі 1 на міцність.

Вихідні дані:

- діаметр осі  $d_1$ , м 0,065;
- довжина осі  $L_1$ , м 0,234;
- допустиме напруження при згинанні  $[\sigma_{-1}]$ , МПа [11] 310.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [2,10]

На вісь діє зусилля, рівне (рисунок 4.7) половині зусиллю піднімання,  $P_1 = 139096 \text{ Н.}$

Рівнорозподілене навантаження  $q_1$  від сили  $P_1$ :

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		47

$$q_1 = \frac{P_1}{L_1} = \frac{139096}{0,234} = 594427 \text{ Н/м.}$$

Момент опору вала:

$$W = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,065^3 = 27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Згинаючий момент посередині осі:

$$M = \frac{q_1 \cdot L_1^2}{8} = \frac{594427 \cdot 0,234^2}{8} = 4075 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Напруження при згинанні:

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{4075}{27 \cdot 10^{-6}} = 151 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні:

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

$$151 \text{ МПа} < 310 \text{ МПа.}$$

Висновок: умова міцності виконується, тобто вісь витримує діюче на неї навантаження.

#### 4.3.4 Розрахунок осі 1 по другому варіанту навантаження

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.9.

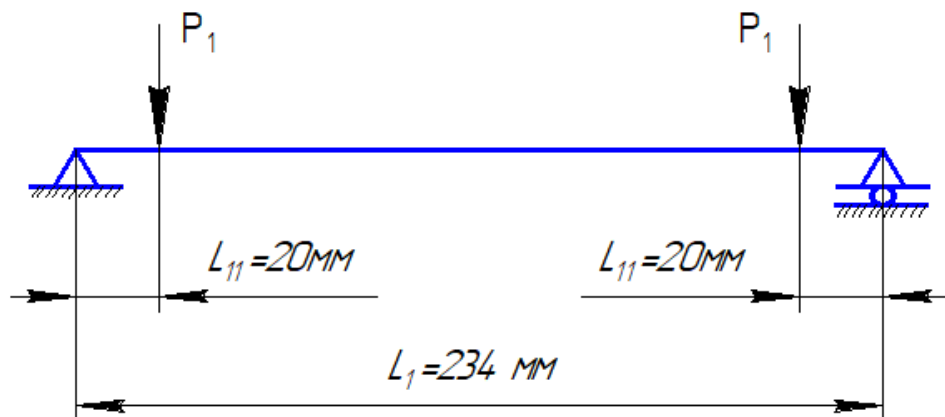


Рисунок 4.9 – Схема навантаження осі

Мета розрахунку: перевірка осі 1 на міцність при вигині та зрізанні.

Вихідні дані:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

- довжина осі  $L_1$ , м 0,234;
- допустиме напруження при вигині  $[\sigma_{-1}]$ , МПа [11] 310;
- допустиме напруження при зрізанні  $[\tau]$ , МПа [11] 80.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [2,10].

Схема навантаження показана на рисунок 5.9, де довжина  $L_1 = 0,02$  м.

Згинаючий момент посередині осі:

$$M = P_1 \cdot L_{11} = 139096 \cdot 0,02 = 2782 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Напруження при згинанні:

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{2782}{27 \cdot 10^{-6}} = 103 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності при вигині

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

$$103 \text{ МПа} < 310 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Дійсне навантаження на вісь відповідає середньому значенню між першим та другим варіантами навантаження.

Площа поперечного перетину осі:

$$F = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot (3,25 \cdot 10^{-2})^2 = 33,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Напруження зрізання  $\tau$ :

$$\tau = \frac{P_1}{F} = \frac{139096}{32,2 \cdot 10^{-4}} = 43,2 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності при зрізанні:

$$\tau \leq [\tau]$$

Маємо:

$$41,9 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Висновок: умови міцності при вигині та зрізанні виконуються, тобто вісь витримує діюче на неї навантаження.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49



#### 4.3.5 Розрахунок осі 2

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.10.

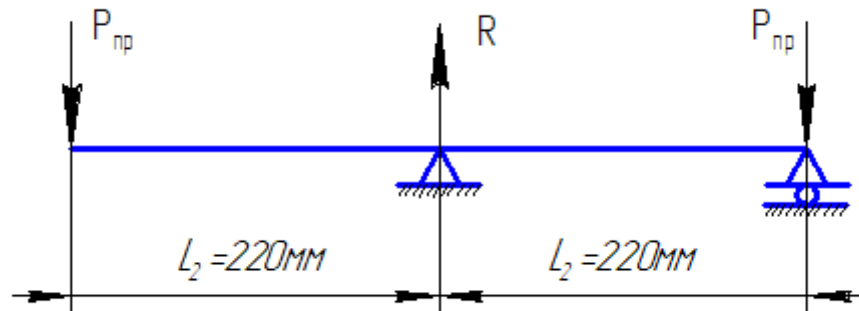


Рисунок 4.10 – Схема навантаження осі

Мета розрахунку: перевірка осі 2 на міцність при згинанні.

Вихідні данні

- діаметр осі  $d_1$ , м 0,13;
- допустиме напруження при згинанні  $[\sigma_{-1}]$ , МПа [11] 310.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [10].

Розраховуємо реакцію в опорі (рисунок 5.8):

$$R = 2 \cdot P_{\text{пр}} = 2 \cdot 483916 = 967832 \text{ Н.}$$

Максимальний згинаючий момент:

$$M = \frac{R \cdot L_2}{4} = \frac{967832 \cdot 0,22}{4} = 53230 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $L_2 = 0,22 \text{ м}$  – плече прикладеної сили.

Момент опору осі:

$$W = 0,1 \cdot d_1^3 = 0,1 \cdot 0,13^2 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Напруження при згинанні:

$$\sigma_1 = \frac{M}{W} = \frac{53230}{2,2 \cdot 10^{-4}} = 241954545 \text{ Па} = 241 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні:

$$\sigma_1 \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

$$241 \text{ МПа} < 310 \text{ МПа}.$$

Висновок: умова міцності виконується, тобто вісь витримує діюче на неї навантаження.

#### 4.3.6 Розрахунок тяг механізму піднімання

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.11.

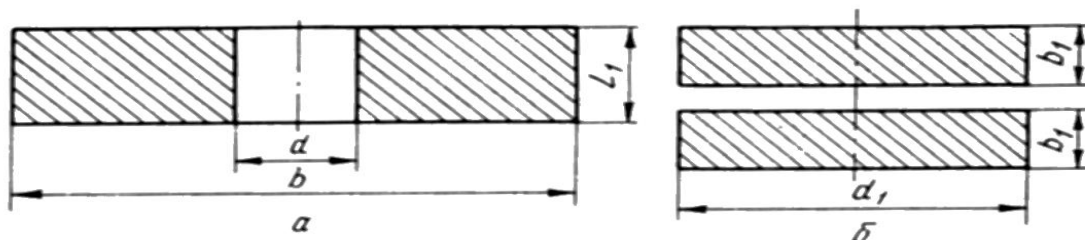


Рисунок 4.11 – Поперечні перерізи тяг

Мета розрахунку: перевірка тяг на міцність.

Вихідні дані:

- зусилля, яке діє на вісь  $P_1$ , Н 139096;
- допустиме напруження при розтягненні  $[\sigma]$ , МПа 130;
- діаметр тяги  $d$ , м 0,045.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [10].

Розрахунок 1-ї тяги.

Площа поперечного перерізу:

$$F = L_1 \cdot (b - d) = 40 \cdot 10^{-3} \cdot (130 \cdot 10^{-3} - 65 \cdot 10^{-3}) = 26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

де  $b = 130$  мм – довжина тяги;

$d = 65$  мм – внутрішній діаметр отвору;

$L_1 = 40$  мм – товщина тяги.

Напруження розтягнення:

$$\sigma = \frac{P_1}{F} = \frac{139096}{26 \cdot 10^{-4}} = 53498461 \text{ Па} = 53,5 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності при вигині:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Маємо:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

$$53,5 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Проводимо розрахунки для другого перерізу (рисунок 4.11 б):  $d_1 = 130 \text{ мм}$ ,  
 $b_1 = 20 \text{ мм}$ .

Площа поперечного перерізу:

$$F = 2 \cdot b_1 \cdot d_1 = 2 \cdot 0,02 \cdot 0,1 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Напруження розтягнення:

$$\sigma = \frac{P_1}{2 \cdot F} = \frac{139096}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 17,4 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні:

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Маємо:

$$17,4 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Розрахунок 2-ї тяги.

Площа поперечного перерізу:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,045^2}{4} = 15,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Напруження розтягнення:

$$\sigma = \frac{P_1}{F} = \frac{139096}{15,9 \cdot 10^{-4}} = 87,5 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні

$$\sigma \leq [\sigma]$$

Маємо:

$$87,5 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Висновок: умова міцності для обох тяг виконується.

#### 4.3.7 Розрахунок важеля валу

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.12.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

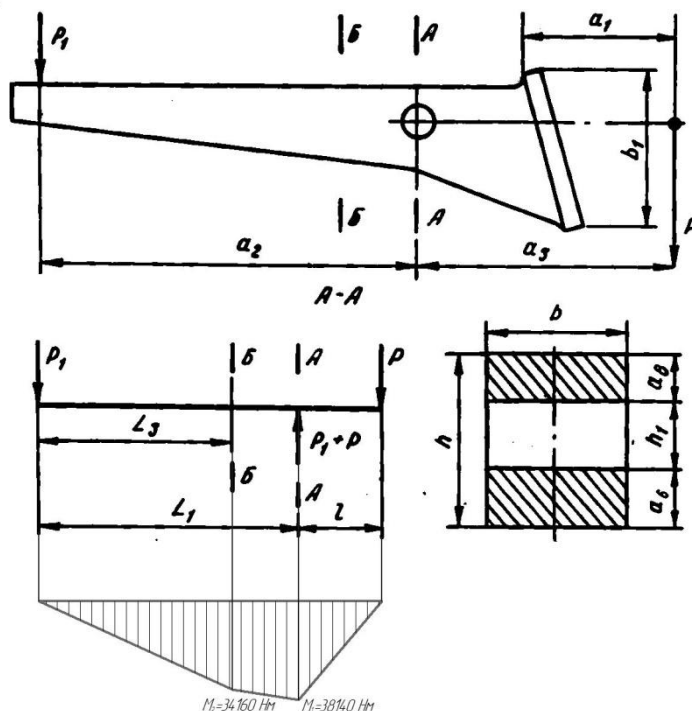


Рисунок 4.12 – Розрахункова схема важеля

Мета розрахунку: перевірка важеля на міцність при згинанні.

Вихідні дані:

- сила тяжіння валу  $G_{\text{ВВ}}$ , Н 114574;
- допустиме напруження при згинанні  $[\sigma_{-1}]$ , МПа [11] 115.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [10].

Розраховуємо найбільш навантажений важіль, а так як усі важелі однакові то виконувати розрахунок інших валів немає необхідності. Вал з гідропідтримкою оболонки є найважчим, тому розрахуємо його важіль.

Зусиль навантаження на один важіль:

$$P_1 = \frac{G_{\text{ВВ}}}{2 \cdot i} = \frac{114574}{2 \cdot 1,28} = 44755 \text{ Н,}$$

де  $i = 1,28$  – передаточне відношення важеля.

Зусилля що діє на вісь:

$$P_{\text{ос}} = P_1 + \frac{G_{\text{ВВ}}}{2} = 44755 + \frac{114574}{2} = 102042 \text{ Н.}$$

Розрахунок на міцність.

Згинаючий момент в перерізі А-А (рисунок 4.12):

$$M_1 = P_1 \cdot L_1 = 44755 \cdot 0,815 = 36475 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $L_1 = 0,815 \text{ м}$  – плече сили.

Згинаючий момент в перерізі Б-Б (рисунок 4.12):

$$M_3 = P_1 \cdot L_3 = 44755 \cdot 0,73 = 32671 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $L_3 = 0,73 \text{ м}$  – плече сили (рисунок 4.12).

Момент опору перерізу А-А (рисунок 4.12) розраховуємо, виходячи з розмірів:  $h_1 = 130 \text{ мм}$ ,  $b = 180 \text{ мм}$ ,  $h = 220 \text{ мм}$ ,  $a_6 = 80 \text{ мм}$ ,  $a_8 = 40 \text{ мм}$ . При розрахунку моменту опору вважаємо, що переріз А-А симетричний відносно горизонтальної осі, причому обидві частини перерізу мають однакові розміри по вертикальній осі – 60 мм.

Момент опору для перерізу А-А:

$$W = \frac{b \cdot (h^3 - h_1^3)}{6 \cdot h} = \frac{0,18 \cdot (0,22^3 - 0,13^3)}{6 \cdot 0,22} = 13,16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Напруження при згинанні в перерізі А-А:

$$\sigma_{1A} = \frac{M_1}{W} = \frac{36475}{13,16 \cdot 10^{-4}} = 27,7 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні

$$\sigma_{1A} \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

$$27,7 \text{ МПа} < 115 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Момент опору для перерізу Б-Б:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,18 \cdot 0,22^2}{6} = 14,52 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Напруження при згинанні в перерізі Б-Б:

$$\sigma_{1B} = \frac{M_3}{W} = \frac{32671}{14,52 \cdot 10^{-4}} = 22,5 \text{ МПа}.$$

Перевіряємо умову міцності при згинанні

$$\sigma_{1B} \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$22,5 \text{ МПа} < 115 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

Висновок: умова міцності для двох перерізів важеля виконується.

#### 4.4 Розрахунок тягових зусиль

##### 4.4.1 Тягове зусилля на подолання тертя в підшипниках валів

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.13.

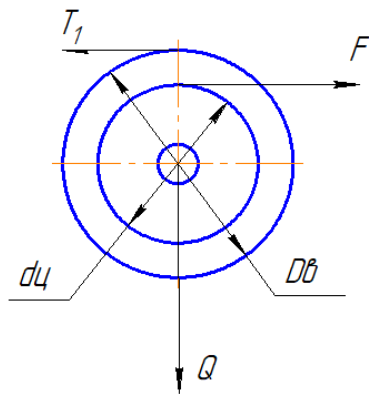


Рисунок 4.13 – Розрахункова схема тягових зусиль

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають в підшипниках валів.

Вихідні дані:

- допоміжне зусилля притискання $P_{пр}$ , Н	483916;
- діаметр цапфи верхнього вала $d_{ц.6в}$ , м	0,28
- діаметр цапфи першого вала $d_{ц.1в}$ , м	0,3
- діаметр цапфи другого вала $d_{ц.2в}$ , м	0,28
- діаметр верхнього вала $D_{6в}$ , м	0,43
- діаметр першого вала $D_{1в}$ , м	0,65
- діаметр другого вала $D_{2в}$ , м	0,6

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

Навантаження на підшипники в 6-го вала:

$$Q_{1.6} = G_6 = 54181 \text{ Н},$$

де  $G_6 = 54181 \text{ Н}$  – 6-го валу.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

Тягове зусилля в підшипниках 6-го вала:

$$T_{1.6} = Q_{1.6} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.6В}}{D_{6В}} = 54181 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,28}{0,43} = 379 \text{ Н},$$

де  $f = 0,01$  – коефіцієнт тертя для підшипників.

Навантаження на підшипники в 5-го вала:

$$Q_{1.5} = Q_{1.6} + P_{пр} + G_5 = 54181 + 483916 + 114574 = 652671 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля в підшипниках 5-го вала:

$$T_{1.5} = Q_{1.5} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.5В}}{D_{5В}} = 652671 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,3}{0,65} = 3012 \text{ Н}.$$

Навантаження на підшипники в 4-го вала:

$$Q_{1.4} = Q_{1.5} + G_4 = 652671 + 54181 = 706852 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля в підшипниках 4-го вала:

$$T_{1.4} = Q_{1.4} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.4В}}{D_{4В}} = 706852 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,28}{0,4} = 4948 \text{ Н}.$$

Навантаження на підшипники в 3-го вала:

$$Q_{1.3} = Q_{1.4} + G_3 = 706852 + 54181 = 712381 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля в підшипниках 3-го вала:

$$T_{1.3} = Q_{1.3} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.3В}}{D_{3В}} = 712381 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,28}{0,4} = 4986 \text{ Н}.$$

Навантаження на підшипники в 2-го вала:

$$Q_{1.2} = Q_{1.3} + G_2 = 712381 + 78970 = 791370 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля в підшипниках 2-го вала:

$$T_{1.2} = Q_{1.2} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.2В}}{D_{2В}} = 791370 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,28}{0,6} = 3693 \text{ Н}.$$

Навантаження на підшипники в 1-го вала:

$$Q_{1.1} = Q_{1.2} + G_1 = 791370 + 114574 = 905974 \text{ Н}.$$

Тягове зусилля в підшипниках 1-го вала:

$$T_{1.1} = Q_{1.1} \cdot f \cdot \frac{d_{ц.1В}}{D_{1В}} = 905974 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,3}{0,65} = 4181 \text{ Н}.$$

Сумарне тягове зусилля на здолаття тертя в підшипниках валів:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$T_1 = \sum_{i=1}^6 T_{1,i} = 379 + 3012 + 4948 + 4986 + 3693 + 4181 = 21199 \text{ Н.}$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля в підшипниках валів, яке склало 21199 Н.

#### 4.4.2 Тягове зусилля на подолання тертя кочення вала по валу

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.14.

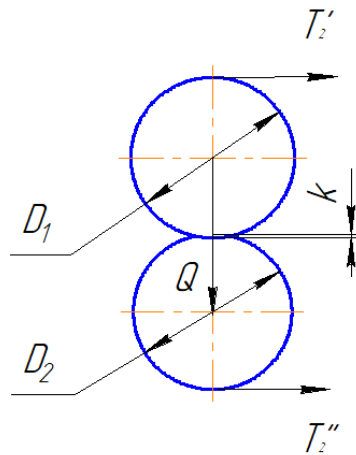


Рисунок 4.14 – Розрахункова схема тягових зусиль

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають в результаті тертя кочення вала по валу.

Вихідні дані

- діаметр верхнього вала $D_{6В}$ , м	0,43;
- діаметр п'ятого вала $D_{5В}$ , м	0,65;
- діаметр четвертого вала $D_{4В}$ , м	0,4;
- діаметр третього вала $D_{3В}$ , м	0,4;
- діаметр другого вала $D_{2В}$ , м	0,6;
- діаметр першого вала $D_{1В}$ , м	0,65.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

Тягове зусилля на здолання тертя кочення шостого вала по п'ятому:

$$T_{2.5} = 2 \cdot Q_{1.5} \cdot k \cdot \left( \frac{1}{D_{6В}} + \frac{1}{D_{5В}} \right) = 2 \cdot 652671 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1}{0,43} + \frac{1}{0,65} \right) = 790 \text{ Н,}$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57



де  $k = 1,5 \cdot 10^{-4}$  м – коефіцієнт тертя кочення, для каландрових валів.

Тягове зусилля на здолаття тертя кочення п'ятого вала по четвертому:

$$T_{2.4} = 2 \cdot Q_{1.4} \cdot k \cdot \left( \frac{1}{D_{5B}} + \frac{1}{D_{4B}} \right) = 2 \cdot 706852 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1}{0,65} + \frac{1}{0,4} \right) = 856 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на здолаття тертя кочення четвертого вала по третьому:

$$T_{2.3} = 2 \cdot Q_{1.3} \cdot k \cdot \left( \frac{1}{D_{4B}} + \frac{1}{D_{3B}} \right) = 2 \cdot 712381 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,4} \right) = 1068 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на здолаття тертя кочення третього вала по другому:

$$T_{2.2} = 2 \cdot Q_{1.2} \cdot k \cdot \left( \frac{1}{D_{3B}} + \frac{1}{D_{2B}} \right) = 2 \cdot 791370 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1}{0,4} + \frac{1}{0,6} \right) = 989 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на здолаття тертя кочення другого вала по першому:

$$T_{2.1} = 2 \cdot Q_{1.1} \cdot k \cdot \left( \frac{1}{D_{2B}} + \frac{1}{D_{1B}} \right) = 2 \cdot 905974 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot \left( \frac{1}{0,6} + \frac{1}{0,65} \right) = 871 \text{ Н.}$$

Сумарне тягове зусилля на здолаття тертя кочення валів один по одному:

$$T_2 = \sum_{i=1}^{i=1} T_{2.i} = 790 + 856 + 1068 + 989 + 871 = 4574 \text{ Н.}$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля на здолаття тертя кочення валів один по одному, яке склало 4574 Н.

#### 4.4.3 Тягове зусилля на здолаття тертя шабера по поверхні вала

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.15.

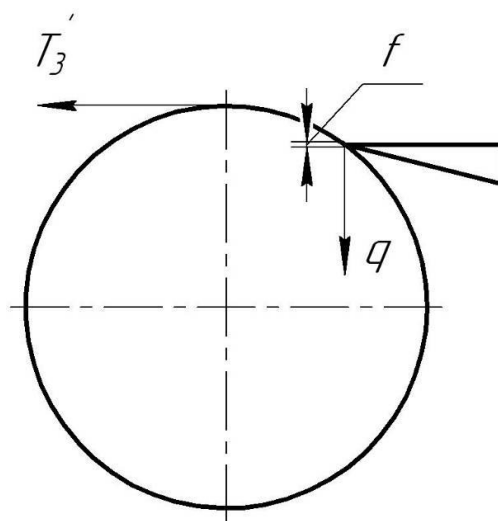


Рисунок 4.15 – Розрахункова схема тягових зусиль

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають в результаті тертя шабера по поверхні вала.

Вихідні дані:

- довжина робочої поверхні оболонки  $B$ , м 4,25.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

Тягове зусилля на здолаття тертя шабера по поверхні вала:

$$T'_3 = q_{л.ш} \cdot B \cdot f_{ш} = 0,2 \cdot 10^3 \cdot 4,25 \cdot 0,2 = 170 \text{ Н},$$

де  $q_{л.ш} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ кН/м}$  – лінійний тиск шабера;

$f_{ш} = 0,2$  – коефіцієнт тертя.

Спроектований каландр має шість валів на кожному з яких встановлений шабер, тому загальне тягове зусилля тертя шаберів по поверхні валів:

$$T_3 = 6 \cdot T'_3 = 6 \cdot 170 = 1020 \text{ Н}.$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля на здолаття тертя шабера по поверхні вала, яке склало 1020 Н.

#### 4.4.4 Тягове зусилля на здолаття тертя в поздовжніх ущільненнях валів з гідропідтримкою оболонки

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.16.

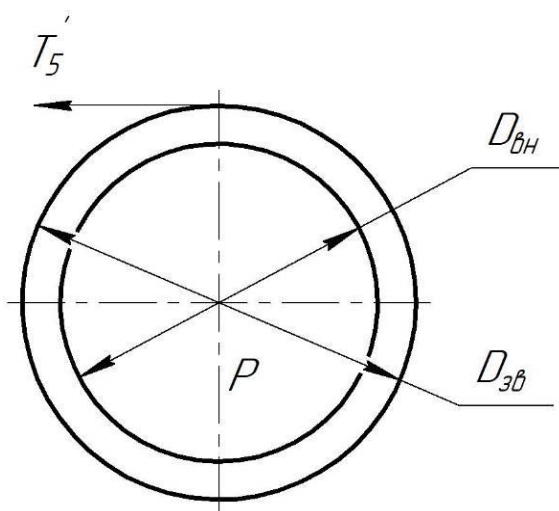


Рисунок 4.16 – Розрахункова схема тягових зусиль

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають в торцевих ущільненнях валів з гідропідтримкою оболонки.

Вихідні дані:

- довжина робочої поверхні оболонки  $B$ , м 4,25;
- внутрішній діаметр вала  $D_{\text{вн}}$ , м 0,56;
- зовнішній діаметр вала  $D_{\text{зв}}$ , м 0,65.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

П'ятий і нижній вали - вали з гідропідтримкою оболонки. В них, для запобігання витікання мастила, внутрішня камера має поздовжнє ущільнення. Тому необхідно розрахувати тягове зусилля на подолання тертя в ущільненнях.

Периметр ущільнення:

$$\Pi = 2 \cdot ((d - d_c) + B) = 2 \cdot ((0,56 - 0,545) + 4,25) = 8,53 \text{ м.}$$

Тягове зусилля на здолаття тертя в одному поздовжньому ущільненню:

$$T'_5 = \Pi \cdot \delta \cdot f_y \cdot P_k \cdot \frac{D_{\text{вн}}}{D_{\text{зв}}} = 8,53 \cdot 0,06 \cdot 0,015 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,56}{0,65} = 2614 \text{ Н,}$$

де  $\delta = 0,06$  м – товщина ущільнення;

$f_y = 0,015$  – коефіцієнт тертя в ущільненні;

$P_k = 0,4$  МПа – максимальний тиск в камері вала.

В кожному валу з гідропідтримкою оболонки по два поздовжніх ущільнення, тому загальне тягове зусилля на подолання тертя в поздовжніх ущільненнях:

$$T_5 = 4 \cdot T'_5 = 4 \cdot 2614 = 10456 \text{ Н.}$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля на здолаття тертя в поздовжніх ущільненнях валів з гідропідтримкою оболонки, яке склало 10456 Н.

#### 4.4.5 Тягове зусилля на здолаття тертя в торцевих ущільненнях валів з гідропідтримкою оболонки

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.17.

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають в торцевих ущільненнях валів з гідропідтримкою оболонки.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

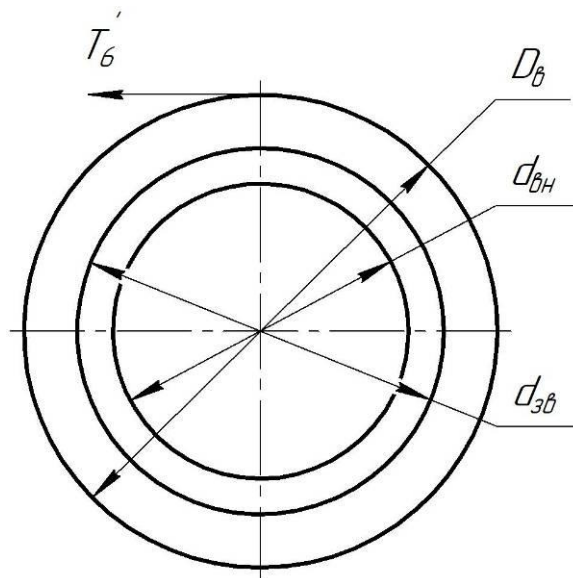


Рисунок 4.17 – Розрахункова схема тягових зусиль

Вихідні дані:

- зовнішній діаметр торцевого ущільнення  $d_{\text{зб}}$ , м 0,56;
- внутрішній діаметр ущільнення  $d_{\text{бн}}$ , м 0,45;
- діаметр вала  $D_{\text{в}}$ , м 0,65.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11]

Тягове зусилля на подолання тертя в одному торцевому ущільненні:

$$T'_6 = 0,3 \cdot (d_{\text{зб}}^2 - d_{\text{бн}}^2) \cdot P_k \cdot f \cdot \frac{d_{\text{зб}}}{D_{\text{в}}} = 0,3 \cdot (0,56^2 - 0,45^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,01 \cdot \frac{0,56}{0,65} = 115 \text{ Н},$$

де  $f = 0,01$  – коефіцієнт тертя торцевого ущільнення.

В розробленому конструкції два вали з гідропідтримкою оболонки, кожен вал має два торцевих ущільнення, тому загальне тягове зусилля на подолання тертя в торцевих ущільненнях:

$$T_6 = 4 \cdot T'_6 = 4 \cdot 115 = 460 \text{ Н}.$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля на здолення тертя в торцевих ущільненнях валів, яке склало 460 Н.

#### 4.4.6 Тягове зусилля на здолення тертя ковзання валів по паперу

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.18.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

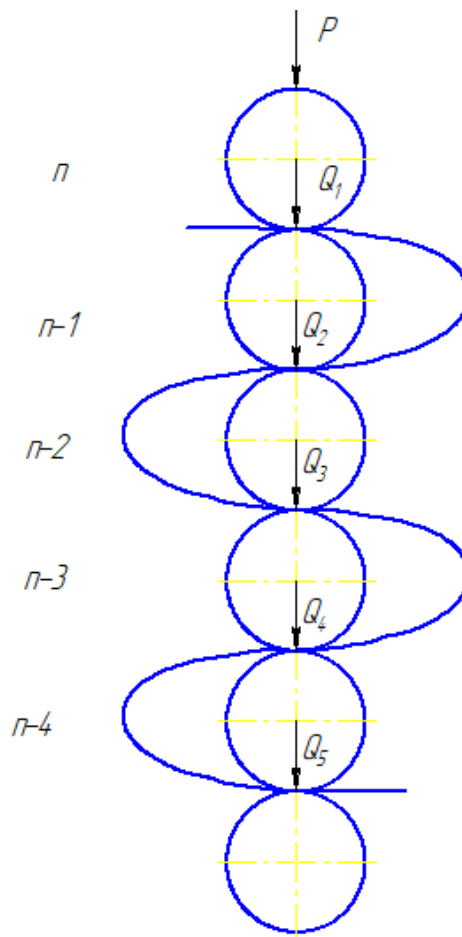


Рисунок 4.18 – Розрахункова схема тягових зусиль

Мета розрахунку: визначення тягових зусиль, які виникають від тертя ковзання валів по паперу.

Вихідні дані:

- допоміжне зусилля притискання  $P_{пр}$ , Н 483916;
- сила тяжіння верхнього вала  $G_{вв}$ , Н 54181;
- сила тяжіння проміжного вала  $G_n$ , Н 54181;
- сила тяжіння приводного вала  $G_{2в}$ , Н 78970;
- сила тяжіння валу з гідропідтримкою оболонки  $G_{гп}$ , Н 114574.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

Сумарне навантаження:

$$Q_{сум} = 5 \cdot G_{вв} + 4 \cdot (P_{пр} + G_{гп}) + 5 \cdot G_n + G_{2в} =$$

$$= 5 \cdot 54181 + 4 \cdot (483916 + 114574) + 5 \cdot 54181 + 78970 = 3014740 \text{ Н.}$$

Тягове зусилля на подолання тертя ковзання валів по паперу:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

$$T_4 = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{сум}} \cdot f_{\text{Тк}}}{100} = \frac{0,1 \cdot 3014740 \cdot 0,3}{100} = 904 \text{ Н,}$$

де  $\alpha = 0,1$  – коефіцієнт;

$f_{\text{Тк}} = 0,3$  – коефіцієнт тертя ковзання валів по паперу.

Висновок: в результаті розрахунку було визначене сумарне тягове зусилля на подолання тертя ковзання валів по паперу, яке склало 904 Н.

#### 4.5 Розрахунок потужності приводу та вибір двигуна

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.19.

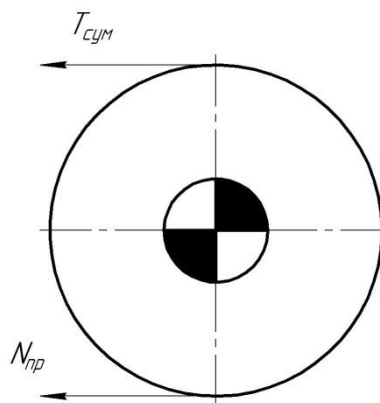


Рисунок 4.19 – Розрахункова схема потужності приводу

Мета розрахунку: визначення потужності приводу та підбір електродвигуна з необхідною потужністю.

Вихідні дані:

- зусилля на здолання тертя в підшипниках валів  $T_1$ , Н 21199;
- зусилля на здолання тертя кочення валів один по одному  $T_2$ , Н 4574;
- зусилля на здолання тертя шабера по поверхні вала  $T_3$ , Н 1020;
- зусилля на здолання тертя ковзання валів по паперу  $T_4$ , Н 904;
- зусилля на подолання тертів в поздовжніх ущільненнях  $T_5$ , Н 10456;
- зусилля на подолання тертів в торцевих ущільненнях  $T_6$ , Н 460.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [11].

Сума всіх тягових зусиль:

$$\sum T_i = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 =$$

$$= 21199 + 4574 + 1020 + 904 + 10456 + 460 = 38613 \text{ Н.}$$

Коефіцієнт який показує вплив швидкості на коефіцієнт тертя:

$$K_v = 1 + \alpha \cdot (V - 200) = 1 + 0,0002 \cdot (470 - 200) = 1,05,$$

де  $\alpha = 0,0002$  – емпіричний коефіцієнт.

Потужність приводу каландру:

$$N_{\text{пр}} = \sum T_i \cdot V \cdot K_v \cdot K_m = 38613 \cdot 7,83 \cdot 1,05 \cdot 1,5 = 476185 \text{ Вт,}$$

де  $K_m = 1,5$  – коефіцієнт тимчасового перенавантаження.

Необхідна потужність двигуна каландра:

$$N_d = \frac{N_{\text{пр}}}{\eta} = \frac{476185}{0,945} = 503899 \text{ Вт} = 504 \text{ кВт.}$$

Висновок: в результаті розрахунку було визначена необхідна потужність двигуна каландра, яка склала 504 кВт. При виборі двигуна, необхідно врахувати що під час вмикання каландра пускова потужність більша за робочу. Тому з урахуванням перевантаження каландра вибираємо електродвигун постійного струму марки Siemens 1LA8 357 [12], який має такі характеристики: частота обертання  $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ , потужність  $N = 560 \text{ кВт}$ .

#### 4.6 Розрахунок цапф приводного вала

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.20.

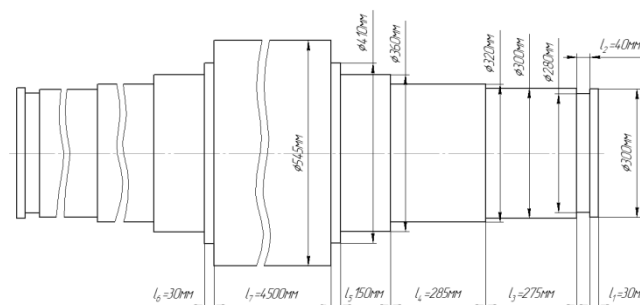


Рисунок 4.20 – Розрахункова схема цапф приводного вала

Мета розрахунку: перевірка цапф приводного вала на міцність.

Вихідні дані:

- допустиме напруження  $[\sigma_{-1}]$ , МПа [10]

75,68;

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

- навантаження на цапфу 2-го вала  $Q_{1.2}$ , Н

791370.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [2].

Реакція в опорах:

$$R_A = \frac{Q_{1.2}}{2} = \frac{791370}{2} = 395685 \text{ Н.}$$

Згинаючий момент від прикладеного навантаження на цапфу:

$$M_n = R_A \cdot l_{\text{ц}} = 395685 \cdot 0,285 = 102 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $l_{\text{ц}} = 0,285$  м – довжина цапфи, у відповідності до рисунок 4,21.

Число обертів вала:

$$n = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{7,83}{3,14 \cdot 0,6} = 4,15 \text{ с}^{-1} \text{ або } 250 \text{ хв}^{-1}.$$

Крутний момент який діє на цапфу:

$$M_k = \frac{30 \cdot N_{\text{пр}}}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 504 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 250} = 19261 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Загальний згинаючий момент:

$$M_{\text{ц}} = \sqrt{M_n^2 + 0,75 \cdot M_k^2} = \sqrt{102000^2 + 0,75 \cdot 19261^2} = 103,4 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору цапфи:

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot d_{\text{ц}}^3 = 0,1 \cdot 0,32^3 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

де  $d_{\text{ц}} = 0,32$  м – діаметр цапфи.

Напруження на цапфу:

$$\sigma_{\text{ц}} = \frac{M_{\text{ц}}}{W_{\text{ц}}} = \frac{103,4 \cdot 10^3}{3,2 \cdot 10^{-3}} = 32,3 \text{ МПа}.$$

Динамічне навантаження при згинанні:

$$\sigma_{\text{д}} = \sigma_{\text{ц}} \cdot K_{\text{д}} = 32,3 \cdot 1 = 32,3 \text{ МПа},$$

де  $K_{\text{д}} = 1$  – коефіцієнт динамічності.

Перевіряємо умову міцності:

$$\sigma_{\text{д}} \leq [\sigma_{-1}]$$

Маємо:

$$32,3 \text{ МПа} < 75,68 \text{ МПа}.$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		65



Умова міцності виконується.

Висновок: умова міцності виконується, тобто цапфи витримують діюче на них навантаження.

#### 4.7 Розрахунок та вибір підшипників

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.21.

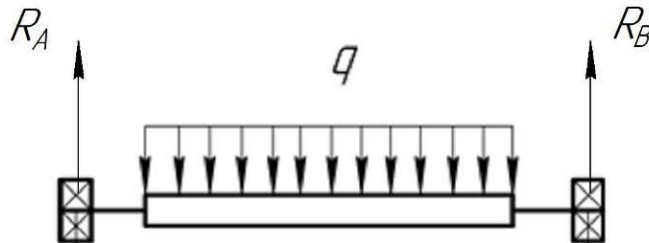


Рисунок 4.21 – Розрахункова схема підшипників

Мета розрахунку: перевірка придатності обраних підшипників за динамічною вантажопідйомністю.

Вихідні дані:

- реакція в опорах  $R_A$ , Н 395685;
- коефіцієнт обертання  $K_K$  1;
- коефіцієнт короточасних перевантажень  $K_\sigma$  1,2;
- коефіцієнт експлуатаційної роботи підшипників  $K_T$  1
- бажаний ресурс підшипників  $[L_h]$ , год 20000.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [13].

Вибираємо підшипник сферичний роликовий дворядний 113656 за ГОСТ 5721-75, в якого  $D = 580$  мм,  $d = 280$  мм,  $B = 175$  мм,  $C = 3000000$  Н.

Приведене навантаження на один підшипник:

$$Q_{\text{пр}} = R_A(XK_K + 0,1Y)K_TK_\sigma = 395685 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 474822 \text{ Н},$$

де  $X = 1$  – коефіцієнт радіального навантаження;

$Y = 0$  – коефіцієнт осьового навантаження.

Довговічність підшипника буде складати:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

$$L^0 = \left( \frac{C}{Q_{\text{пр}}} \right)^{\frac{10}{3}} = \left( \frac{3000000}{474822} \right)^{\frac{10}{3}} = 466 \text{ млн. об.},$$

де  $C = 3000000 \text{ Н}$  – динамічна вантажопідйомність підшипника.

Довговічність, год.:

$$L_h = \frac{L^0}{60 \cdot n} = \frac{460000000}{60 \cdot 250} = 30666 \text{ год.},$$

де  $n = 250 \text{ хв}^{-1}$  – число обертів вала.

Умова довговічності:

$$L_h \geq [L_h]$$

Маємо:

$$30666 \text{ год.} > 20000 \text{ год.}$$

Висновок: вибраний підшипник роликовий сферичний дворядний 113656 за ГОСТ 5721-75, підходить за довговічністю.

#### 4.8 Розрахунок шабера

Розрахункова схема зображена на рисунку 4.22.

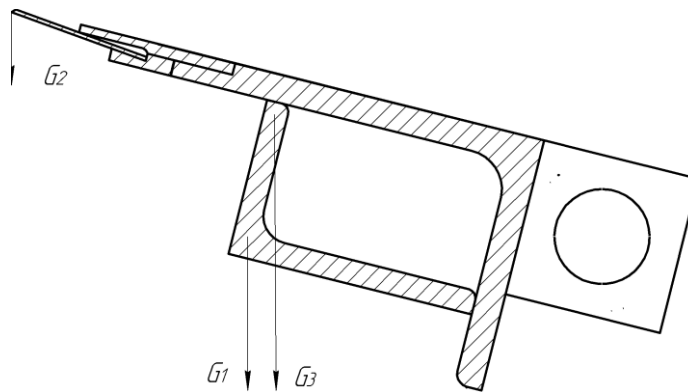


Рисунок 4.22 – Схема розміщення центрів ваги елементів шабера

Мета розрахунку: розрахувати тиск, потрібний для притискання шаберу до валу каландра.

Вихідні дані:

- сила тяжіння корпусу,  $G_1$ , Н 80;
- сила тяжіння леза,  $G_2$ , Н 230;

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67

- сила тяжіння тримача,  $G_3$ , Н

180.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в літературі [2]

Крутний момент від корпусу шаберу:

$$M_1 = G_1 \cdot l_1 = 80 \cdot 0,27 = 216 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $l_1 = 0,27$  м — відстань від осі обертання шаберу до центру маси корпусу шаберу.

Крутний момент від леза:

$$M_2 = G_2 \cdot l_2 = 230 \cdot 0,11 = 253 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $l_2 = 0,11$  м — відстань від осі обертання шаберу до центру маси леза.

Крутний момент від тримача:

$$M_3 = G_3 \cdot l_3 = 180 \cdot 0,14 = 231 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де  $l_3 = 0,14$  м — відстань від осі обертання шаберу до центру маси тримача.

Сумарний крутний момент від ваги:

$$\sum M = M_1 + M_2 + M_3 = 216 + 253 + 231 = 700 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Зусилля тиску шабера на вал:

$$F = \frac{\sum M}{H} = \frac{700}{0,3} = 2333 \text{ Н}$$

де  $H = 0,3$  м — відстань від центра ваги шабера до точки дотику шаберу до вала.

Лінійний тиск шаберу на вал:

$$q = \frac{N}{L} = \frac{2333}{4,5} = 518,5 \text{ Н/м}$$

де  $L = 4,5$  м — довжина лінії контакту шабера і вала, м.

Сила тертя шаберу по валу:

$$F_{mp} = N \cdot f = 2333 \cdot 0,3 = 700 \text{ Н}$$

де  $f = 0,3$  — коефіцієнт тертя шаберу по валу.

Тиск повітря в камері:

$$P = \frac{F_{mp}}{0,2(D+d)^2} = \frac{700}{0,2(0,15+0,11)^2} = 51,8 \text{ кПа}.$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок зусилля притискання, необхідного для забезпечення рівномірної щільності намотування картонного полотна:

$$P_{\text{ПР}} = \frac{q_{\text{П}} \cdot B + f \cdot (G_T + G_P) \cdot \frac{d_T}{D_P}}{f - \frac{2 \cdot f_K}{D_P}} = \frac{0,3 \cdot 10^3 \cdot 4,2 + 0,3(87600 + 25500) \frac{0,42}{2}}{0,3 - \frac{2 \cdot 0,02}{2}} = 29,95 \text{ кН}$$

де  $f = 0,3$  – коефіцієнт тертя;

$f_K = 0,02$  м — коефіцієнт тертя-кочення;

$D_P = 2$  м — діаметр намотаного рулону.

Для подальшого розрахунку приймаю  $P_{\text{ПР}} = 30$  кН.

Визначаємо лінійний тиск  $q_{\text{Л}}$ , що створюється в захваті:

$$q_{\text{Л}} = \frac{P_{\text{ПР}}}{B} = \frac{30}{4,2} = 7,1 \frac{\text{кН}}{\text{м}} ;$$

Зусилля притискання каландрового валу, необхідні для забезпечення рівномірної щільності картонного полотна  $P_{\text{ПР}} = 30$  кН:

Зусилля на штоку необхідне для притискання валу:

$$F_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{ПР}} \cdot a}{b} = \frac{30 \cdot 0,78}{0,52} = 45 \text{ кН.}$$

Діаметр поршня :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{ш}}}{2 \cdot \pi \cdot p_{\text{нов}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 45 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^6}} = 0,239 \text{ м ,}$$

де  $p_{\text{нов}} = 0,2 \cdot 10^6$  Па – тиск повітря в пневмо камері,.

Приймаю діаметр поршня  $d = 0,25$  м.

Висновок: розрахувати тиск, який потрібний для притискання шаберу до вала каландра потрібно створити 51,8 кПа.

#### 4.9 Розрахунок охолодження валів каландру

Метою розрахунку: визначення кількості сопел, які необхідні для охолодження вала каландра.

Вихідні дані:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- потужність двигуна  $N$ , кВт 560;
- ККД двигуна  $\eta$  0,96;
- діаметр сопла  $d$ , м 0,25;
- швидкість повітря  $W_{\text{п}}$ , м/с 25.

Розрахунок проводимо за методикою наведеною в [11].

Кількість тепла, кВт:

$$Q = 0,8N10^3\eta = \alpha F \Delta t,$$

Тоді:

$$0,8N10^3\eta = \alpha F \Delta t$$

Звідки площа сопел:

$$F = \frac{0,8N10^3\eta}{\alpha \Delta t} = \frac{0,8 \cdot 560 \cdot 10^3 \cdot 0,96}{84,3 \cdot 50} = 36,4 \text{ м}^2$$

де  $\Delta t = 30 - 50^\circ\text{C}$  – температура;

$\alpha$  - коефіцієнти тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Коефіцієнти тепловіддачі:

$$\alpha = 7,54W_{\text{п}}^{0,75} = 7,54 \cdot 25^{0,75} = 84,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Площа сопла:

$$f_c = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} = 0,28 \text{ м}^2$$

Число сопел:

$$n = \frac{F}{f_c} = \frac{36,4}{0,28} = 126 \text{ штук.}$$

Висновок: було визначення кількості сопел  $n = 126$  штук, які необхідні для охолодження вала каландра.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці – одне з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці. Підвищення якості підготовки фахівців з вищезазначених питань – об'єктивна вимога часу.

Сучасний розвиток науки та техніки привносить принципові нововведення у всі сфери матеріального виробництва, суттєво змінюючи технологічні процеси та використовувані матеріали, предмети та знаряддя праці. В свою чергу зміни технології та устаткування призводять до трансформації умов праці та трудового процесу в цілому. Тому, при розробці нової техніки, необхідно провести науковий аналіз можливих небезпечних та шкідливих виробничих факторів та розробити заходи і засоби, спрямовані на мінімізацію їх несприятливого впливу на працюючу людину.

Тема магістерської дисертації: «Вдосконалення картоноробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Модернізація каландра крейдованого картону» (Комплексна) .

Дане обладнання обслуговує оператор, який виконує свої обов'язки в окремому приміщенні площа якого  $S = 40,5 \text{ м}^2$ , об'єм  $V = 120 \text{ м}^3$ . Робота оператора в цеху на целюлозно-паперовому виробництві відноситься до роботи з підвищеною безпекою.

На робочому оператор шкідливо небезпечними виробничими факторами є:

- безпека ураження електричним струмом;
- надзвичайні ситуації;
- безпека впливу деталей, що рухаються та обертаються;
- виробничий шум;
- виробнича вібрація;

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

- виробниче освітлення;
- пожежна небезпека.

Проведемо аналіз вище перерахованих шкідливих та небезпечних факторів.

## 5.1 Електробезпека

Приміщення, в якому розміщена каландрова частина КРМ, має по ПУЕ II клас.

В приміщенні в якому розміщена каландрова частина КРМ і для самої роботи машини використовуємо струм напругою  $U = 220/380$  В, частота  $f = 50$  Гц.

Для запобігання ураження електричним струмом виконано наступні заходи:

- надійно заізолювано елементи конструкції, що проводять електричний струм;
- кабелі укладено в «рукави»;
- встановлено сітчасті (розмір щілини –  $0,015 \times 0,015$  м) огорожі струмоведучих частин на недосяжній висоті 3,0 м;
- встановлено електричне блокування на огорожі струмоведучих частин;
- встановлено орієнтацію в електроустановках (попереджувальні сигнали та знаки; написи та таблички; знаки високої напруги; відповідне розташування і колір неізолюваних струмоведучих частин і ізоляції; фарбування органів управління у відмінний від інших колір і світлова ізоляція);
- обслуговуючому персоналу видаються засоби захисту (діелектричні ковбики, рукавички, індикатори струму та напруги);
- в аварійному режимі використовується захисне заземлення ( $R_3 = 2,9$  Ом, що відповідає ГОСТ 12.1.030 – 81).

Ці заходи проведені згідно ГОСТ 12.1.030 – 81.

При силі струму, що проходить крізь людину при доторканні до однієї з фаз мережі в аварійному режимі роботи. яка перевищує значення, що дозволяється за ГОСТ 12.1.030 – 81.

Схема заземлення наведена на рисунку 5.1:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

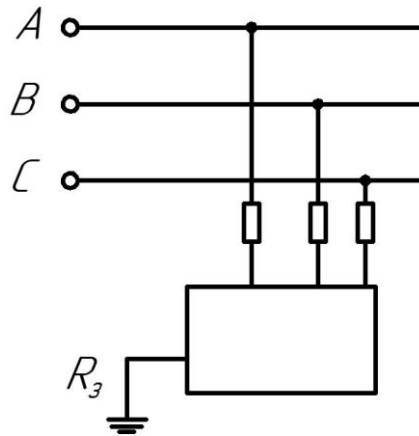


Рисунок 5.1 – Схема заземлення

Забезпечення електробезпеки є дуже важливим чинником, при проектуванні каландра, тому що дозволяє зменшити ймовірність смертельного випадку чи травматизму серед обслуговуючого персоналу у виробничих умовах.

Розрахунок захисного заземлення проводимо за методикою наведеною в літературі [14].

Сила струму, проходячого через тіло людини в аварійному режимі при дотортані людини до однієї із фаз мережі без заземлення:

$$I_4 = \frac{U_{\phi}}{R + \left(\frac{r}{3}\right)} = \frac{220}{3000 + \left(\frac{50000}{3}\right)} = 0,01 \text{ A}$$

де  $R$  – опір тіла людини, Ом;

$r$  – опір ізоляції проводу, Ом;

$I = 0,01\text{A}$  – що перевищує значення, припустиме ГОСТ 12.1.038-82

Згідно ПУЕ найбільш припустимий опір заземленого пристрою  $R = 40$  ом.

Сила струму, яке проходить через тіло людини в аварійному режимі з заземленням:

$$I_4 = \frac{U_{\phi}}{R_4 + \left(\frac{r}{3}\right) + \left(\frac{R_4 + r}{3R_{n.\phi.}}\right)} = \frac{220}{3000 + \left(\frac{50000}{3}\right) + \left(\frac{3000 + 50000}{3 \times 4}\right)} = 0,00913\text{A}$$

Тому для уникнення травматизму необхідно провести розрахунок захисного заземлення. При модернізації каландра картоноробної машини забезпечення



електробезпеки є дуже важливим фактором, так як різко знижується смертність та травматизм у виробничих умовах.

Обираємо тип заземлення – стержневе, колового перетину. Розмір одного заземлення: діаметр 0,01м та довжина 1,5м.

Визначаємо опір одиничного заземлення розтіканню струму в однорідному ґрунті.

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} = \frac{1 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5} \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,5}{0,01} = 67,9 \text{ Ом}$$

де  $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  – питомий опір ґрунту, при вологості 10....12% до ваги ґрунту.

Визначаємо орієнтовне число заземлювачів:

$$n_{op} = \frac{R_1}{R_o} = \frac{67,4}{4} = 17 \text{ шт}$$

Коефіцієнт використання заземлителів, враховуючий їх взаємне екранування  $\eta$  для заземлителів, розміщених в ряд через 1,5м, становить  $\eta = 0,59$ .

Тоді необхідне число заземлителів:

$$n = \frac{R_1}{R_o \eta} = \frac{67,9}{4 \cdot 0,59} = 28,7 \text{ шт}$$

Приймаємо  $n = 29$  шт.

Визначаємо фактичний опір вертикальних штучних заземлителів:

$$R_{\text{ф.}} = \frac{R_1}{n \eta} = \frac{67,9}{29 \cdot 0,59} = 2,9 \text{ Ом}$$

З'єднувальний прут є додатковим заземленням.

Довжина з'єднувального прута:

$$l_n = l (n - 1) = 1,5(29 - 1) = 32 \text{ м}$$

Опір з'єднувального прута:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi l_n} \ln \frac{2l_n}{d} = \frac{1 \cdot 10^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 32} \cdot \ln \frac{2 \cdot 32}{0,01} = 4,35 \text{ Ом}$$

Повний фактичний опір ґрунтового заземлителя з вертикальних заземлителів та з'єднувального прута визначається за формулою:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$R_{n.ф.} = \frac{R_{в.ф.} \cdot R_n}{R_{в.ф.} + R_n} = \frac{3,97 \cdot 4,35}{3,97 + 4,35} = 2,1 \text{ Ом}$$

При захисному заземленні:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_4 + \frac{\nu}{3} + \frac{R_4 + \nu}{3_{\text{Рп.ф.}}}} = \frac{220}{3000 + \frac{50000}{3} + \frac{3000 + 50000}{3 \cdot 2,1}} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

значення  $I_{\text{ч}} = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ А}$  нижче припустимого значення за ГОСТ 12.1.038 – 82.

## 5.2 Виробничий шум

Приміщення, в якому розміщена каландрова частина КРМ - закритого типу, а сама конструкція каландрової частини спричиняє шум.

Згідно норм шум при роботі каландрової частини КРМ не повинен перевищувати 93 дБА.

Для запобігання перевищення шуму вище встановленої норми над каландровою частиною встановлено звуковідбиваючі екрани.

Для зменшення шуму від обертових елементів:

- виконано балансування валів;
- відслідковується рівень мастила в підшипникових вузлах.

Приміщення в якому працює оператор зроблене з шумопоглинаючих матеріалів.

Ці заходи дозволили знизити рівень шуму до рівня 55 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99 .

З метою індивідуального захисту персоналу видаються:

- протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, що знижують рівень шуму до 22...28 дБА,;
- протишумові вкладиші „Беруші СТ-1” ТУУ 25513947.002-99, що знижують рівень шуму до 16...20 дБА.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

### 5.3 Віброзахист

Основними джерелами вібрації в приміщенні є обертові частини КРМ. Такими частинами вважаються пресові вали, сіткоповоротний, сітко натяжний, шабер, вентилятори, електродвигуни, насосні установки, тощо. В таких частинах виникають невідновжені сили, котрі передаються будівельним конструкціям, викликаючи їх вібрацію.

Вібрації будівельних конструкцій є причиною шуму в суміжних приміщеннях. Тому розташування інженерного обладнання в приміщеннях вимагає вживання заходів щодо зниження вібрації будівельних конструкцій до величин, котрі забезпечують допустимий рівень шуму в приміщеннях.

Найбільш ефективним та технічно доцільним методом зниження вібрації будівельних конструкцій є зниження невідновжених сил, тобто динамічних навантажень, котрі створюються сушильною частиною.

Для запобігання вище сказаного були виконані такі роботи:

- ретельне динамічне балансування обертюв частин агрегатів;
  - центрування муфтових з'єднань з електродвигуном;
  - ліквідація перекосів та великих зазорів у підшипниках;
  - надійне закріплення рознімних частин обладнання (кришок підшипників, з'єднувальних фланців трубопроводів );
  - приміщення оператора зроблено з матеріалів які гасять вібрації.
- Ці заходи дозволили знизити вібрацію рухомих частин до рівня, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.039-99.

### 5.4 Пожежна безпека

На виробництві основним матеріалом є картонне полотно, температура займання якого дорівнює 240 - 258°C.

В відповідності до ОНТП 24-86, з врахуванням характеристик речовин з погляду пожежної небезпеки категорія приміщення В ОНТП 24-86-В, клас захисту П-ІІа (ПУЕ).

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Запобігання заpalенням відповідно до ГОСТ 12.004-91 забезпечується такими заходами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- догляд за територією відповідно до вимог пожежної безпеки;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління у спеціальних місцях;
- своєчасне проведення інструкцій серед обслуговуючого персоналу
- організація наочної агітації з техніки безпеки;
- вчасна перевірка устаткування, особливо електричного;
- дотримання вимоги на засоби пожежогасіння;
- наявність пожежної сигналізації (датчик СПД-3.5)

Для гасіння невеликих вогнищ заpalень при вимкненому електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 та пінні.

Для гасіння ввімкнених електромереж застосовують порошкові вогнегасники з речовинами ОПС-10 і ОПС-100.

У цеху на відстані 30 м один від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами по 15 м.

При виникненні пожежі необхідно, не зволікаючи, вимкнути вентиляцію (як приточну, так і витяжну), а швидкість машини знизити до мінімальної. Зупинити машину слід по особливому розпорядженню.

Також при первинній пожежній небезпеці повинні бути здійсненні первинні заходи пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння призначені для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їхнього розвитку силами персоналу об'єкта до прибуття штатних підрозділів пожежної охорони.

До первинних засобів пожежогасіння відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (гаки, ломы, сокири тощо).

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		77

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент пофарбований у чорний колір.

Бочки для зберігання води з метою пожежогасіння встановлені у виробничому приміщенні. Такі бочки укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л.

Ящики для піску мають місткість 0,5, 1,0 та 3,0 м<sup>3</sup> та укомплектовані совковою лопатою.

Протипожежні покривала, виготовлені з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини мають розмір 2х2 м.

Для підвищення організації евакуації при пожежі, в спеціально відведених місцях, розміщено схеми евакоходів.

Протипожежна безпека каландрової частини КРМ відповідає вимогам СНиП 2.01.02-85.

## **5.5 Промислове освітлення**

Правильно спроектоване і виконане освітлення на виробничій ділянці покращує умови роботи, знижує утомлюваність, сприяє підвищенню продуктивності праці та якості кінцевого продукту, безпеці праці і зниженню травматизму на ділянці.

Освітлення робочої ділянки – один з найважливіших факторів створення нормальних умов праці. Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути двох видів: природне і штучне.

Природне освітлення підрозділяється на бічне, яке здійснюється через світлові прорізи в зовнішніх стінах; верхнє, яке здійснюється через аераційні і зенітні ліхтарі, прорізи в перекритті; комбіноване, коли до верхнього освітлення додається бічне. Коефіцієнт природного освітлення для даного приміщення 2. Штучне освітлення може бути двох систем – загальне і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве, що концентрує світловий потік

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

безпосередньо на робочих місцях. Необхідно забезпечити нормальну освітленість виробничої ділянки, яка становить  $E_{\text{норм}} = 250$  лк [13].

Джерела штучного світла, що застосовуються: газорозрядні лампи та лампи накаливання. Лампи обрано за ГОСТ 2239-79 та ГОСТ 6825-74.

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до ДБН В.2.5.28 – 2006 повинна бути 2,5 – 4,0 м, залежно від характеристики світильника.

За довідниковими даними, вибираємо лампу світлодіодну, потужністю 8 Вт, світловий потік якої становить 800 лм, час роботи – 25000 годин, фактична освітленість становить  $E_{\phi}=300$  лк.

Освітленість робочого місця відповідає вимогам ДБН В 2.5.28 – 2006.

Крім робочого передбачено також аварійне освітлення. Освітленість повинна становити не менше 5% величини робочого освітлення і не менше 1 лк на території підприємства.

## 5.6 Огорожі каландрової частини КРМ

Всі рухомі частини мають огорожу. Всі робочі площадки мають огорожу з відбійною половою. Висота огорожі - 1200...1500 мм, а відбійна полова не менше 150 мм, що відповідає вимогам ГОСТ 12.2.062 - 81.

## 5.7 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

До надзвичайних ситуацій техногенного характеру на картоноробному підприємстві відносяться аварії, що виникають в результаті поломки вузлів та обладнання КРМ, наслідком чого може бути пожежа, вибух чи забруднення повітря сильнодіючими хімічними речовинами.

Якщо аварія на підприємстві призвела до вибуху, то окрім пожежі, небезпечним є розповсюдження ударної хвилі. Вибух – це надзвичайно швидке хімічне перетворення речовини з миттєвим виділенням великої енергії в

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		79

невеликому об'ємі. Суттєвою ознакою вибуху є різке збільшення тиску, яке викликає у навколишньому середовищі ударну хвилю.

Ударна хвиля в повітрі виникає за рахунок передачі стиснення і розширення шарів повітря. Зі збільшенням відстані від місця вибуху хвиля слабшає і перетворюється на звичайну акустичну. Хвиля при проходженні через дану точку простору викликає зміни в тиску, що характеризуються наявністю двох фаз: стиснення та розширення. Руйнівна дія ударної хвилі характеризується надлишковим тиском у її фронті (передній межі), тиском швидкісного напору, тривалістю фази стиснення. Вплив ударної хвилі на працівників підприємства призводить до отримання безпосередніх чи непрямих уражень. Вони характеризуються легкими, середніми, важкими та вкрай важкими ушкодженнями та травмами.

При надлишковому тиску 20 – 40 кПа людина може одержати легкі ураження (легкі забиття, контузія). Вплив ударної хвилі з надлишковим тиском 40 – 60 кПа призводить до уражень середньої важкості: втрати свідомості, ушкодженню органів слуху, сильного вивиху кінцівок, кровотечі з носа і вух. Важкі травми виникають при надлишковому тиску понад 60 кПа. Вкрай важкі ураження спостерігаються при надлишковому тиску понад 100 кПа. Незахищені працівники можуть, крім того, поранитися осколками скла, що летять з величезною швидкістю та обломками цеху, що руйнується.

Енергетичне, промислове та комунальне обладнання в результаті дії ударної хвилі може також отримати пошкодження, які оцінюються за ступенем їх тяжкості (слабкі, середні і сильні). Середнє руйнування проявляється в руйнуванні дахів і вбудованих елементів-внутрішніх перегородок, вікон, а також у виникненні тріщини у стінах, обвалення окремих ділянок горищних перекриттів і стін верхніх поверхів. Підвали зберігаються. Відновлення будівель можливо при проведенні капітального ремонту. Сильне руйнування характеризується руйнуванням несучих конструкцій і перекриттів верхніх поверхів, утворенням тріщин у стінах і деформацією перекриття нижніх поверхів. Використання

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		80

приміщень стає неможливим, а ремонт і відновлення найчастіше недоцільним. Повне руйнування. Руйнуються всі основні елементи будівлі, включаючи і несучі конструкції. Використовувати будівлі неможливо. Підвальні приміщення при сильних та повних руйнування можуть зберігатися і після розбору завалів частково використовуватися.

При виникненні вибуху на підприємстві необхідно:

- попередити робітників і службовців, зателефонувати в аварійно-рятувальну службу, а також оповістити населення, яке проживає поблизу;

- скористатися індивідуальними засобами захисту: індивідуальним повітряним апаратом МПА-2х30, місткістю балона 2 л, тиском 20 МПа, номінальний ЧЗД якого 18 хв. У разі нестачі для захисту органів дихання від пилу використовувати ватно-марлеву пов'язку;

- при пошкодженні будівлі вибухом входити та виходити з неї необхідно дуже обережно, переконавшись у відсутності значних ушкоджень перекриттів, стін, ліній електро-, газо- та водопостачання, а також пожежі та витоків газу;

- якщо вибух спричинив займання, необхідно скористатися первинними засобами пожежогасіння (вогнегасниками, протипожежним інвентарем). Для недопущення поширення вогню треба задіяти внутрішні пожежні кран-комплекти та пожежні гідранти;

- надати допомогу тим, хто опинився під уламками конструкцій;

- допомогти витягти людей з-під завалів.

При проведенні дій з врятування постраждалих необхідно дотримуватися запобіжних заходів від можливого обвалення будівлі, від пожежі та інших небезпек, обережно вивести працівників і надати їм домедичну допомогу, загасити палаючий одяг, припинити дію електричного струму, зупинити кровотечу у постраждалих, перев'язати рани, накласти шини при переломах кінцівок.

На підприємстві застосовуються автоматичні системи захисту, метою яких у разі виникнення надзвичайної ситуації є:

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



- сигналізація і оповіщення про аварійні ситуації виробничого процесу;
- оповіщення при порушення регламентних параметрів (температури, тиску, складу речовини, швидкості процесу);
- виявлення загазованості виробничих приміщень і автоматичного включення пристроїв, які попереджають про утворення суміші газів і парів з повітрям вибухонебезпечних концентрацій;
- безаварійне зупинення окремих вузлів КРМ або всього виробництва при раптовому припиненні подачі тепла та електроенергії, інертного газу, стисненого повітря.

Обладнання підвищеного тиску повинно укомплектовано системами вибухозахисту, які передбачають:

- застосування обладнання, розрахованого на тиск вибуху;
- застосування гідрозатворів, вогнепопереджувачів, інертних або парових завіс;
- захист апаратів від руйнування під час вибуху за допомогою пристроїв аварійного скидання тиску (запобіжні мембрани і клапани, швидкодіючі засувки, зворотні клапани тощо).

Вибухозахист систем підвищеного тиску досягається також організаційно-технічними заходами: розробленням інструкцій, регламентів, норм і правил ведення технологічних процесів, організацією навчання та інструктажу персоналу, контролем і наглядом за дотриманням норм технологічного режиму, правил і норм техніки безпеки, промислової санітарії та пожежної безпеки тощо.

Схема евакуації у разі виникнення надзвичайної ситуації на підприємстві зображена на рисунку 5.2.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

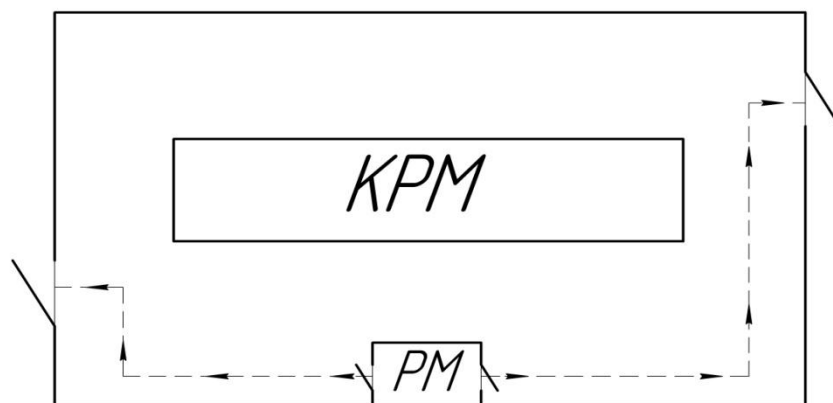


Рисунок 5.2 – Схема евакуації підприємства у разі виникнення надзвичайної ситуації

## 6 Рекомендації, щодо експлуатації та монтажу каландра

### 6.1 Монтажні роботи

Робота каландра машинного КРМ без обривів та збоїв залежить від точності складання, монтажу, вивірки взаємного положення вузлів та деталей. При розробці робочої документації на машину, розробляють спеціальну монтажну документацію у відповідності з галузевим стандартом ОСТ-26-08-2017-2003. Вимоги по монтажу та експлуатації частково викладені у кресленнях загального вигляду і складальних вузлах.

Вимоги до монтажу :

1. Монтаж провести у відповідності з вимогами технічної документації, в якій викладені конструктивні і технологічні особливості каландра що встановлюється:

- монтажно-складальні, монтажно-установочні креслення;
- технічні вимоги заводу-виробника.

2. Встановленню вузлів і частин повинно передувати виконання повного об'єму будівельних робіт.

3. Розпакування обладнання виконують з урахуванням технологічної послідовності складання та монтажу.

4. Для монтажу та обслуговування, цех в якому проводиться монтаж, повинен мати мостовий кран, з двома візками, вантажопідйомністю не менше 15 т. [15].

5. Поставні блоки, які підвішуються до крюків підйомного механізму, повинні бути міцно та надійно закріплені, при цьому:

- стропи повинні бути накладені на блок, що піднімається, без вузлів та перекручувань;
- стропи повинні забезпечити стійкість поставних блоків під час піднімання та переміщення;
- на гострих ребрах, блоку що підіймається, під стропи повинні бути підкладені прокладки, для запобігання від перегинів під гострим кутом і

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		84

перетирання.

6. Перед монтажем ретельно оглянути блоки з метою виявлення ушкоджень при транспортуванні та перевірити відповідність фундаменту вимогам креслення.

7. При експлуатації каландра необхідно виконувати правила техніки безпеки та вимоги виробничих інструктажів, для працюючих на даному підприємстві ЦПВ.

## 6.2 Ремонтні роботи

Пусконаладжувальні роботи.

Перед запуск необхідно дотримуватися виконання таких вимог [15]:

1. Перевіряти відсутності сторонніх предметів між валами, на перехідних містках обслуговування та навколо каландра.

2. Перевіряти надійність кріплення валів, колекторів охолодження та огорожі.

3. Перевіряти справність канатикової заправки.

4. Перевіряти справність датчика контролю наявності полотна при його надходженні на каландр.

5. Встановлювати шабери в робоче положення .

6. Перевіряти стан сопел обдування валів та пневматичних заправки, при необхідності прочистити їх.

7. Перевірити механізми піднімання та притискання валів при тиску повітря у пневматичних камерах 0,5 МПа.

8. Включити подачу мастила в камери валів з гідропідтримкою оболонки, перевірити відсутність витоків мастила з валів.

Технічне обслуговування та ремонт.

Надійна та тривала робота при мінімальному зносі деталей можлива при правильному догляді з дотриманням графіку планово-попереджувальних робіт і підтриманні каландра в справному стані.

Необхідно виконувати дві-три зупинки каландра на місяць для планово-

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

попереджувального ремонту тривалістю по 6 – 8 годин. Кожен рік необхідно зупиняти каландр на 2 – 3 для проведення біль крупнішого ремонту.

Планово-попереджувальний ремонт, є основним видом ремонтних робіт, виконується під час планових простоїв. Ціль такого ремонту – своєчасним оглядом обладнання та заміною зношених деталей та вузлів, попередити можливість поломки деталей, забезпечення безперебійної роботи обладнання та попередити неприпустимий його знос. При планово-попереджувальному ремонті огляд обладнання проводять в встановлені графіком строки. Деталі та окремі частини замінити в залежності від їх фактичного зносу. Кожні 5 років виконувати зупинку на 15-30 днів для капітального ремонту.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 7 Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація – встановлення та застосування правил з метою упорядкування діяльності в певній галузі на користь та при участі всіх зацікавлених сторін, зокрема, для досягнення загальної оптимальної економії при дотриманні функціональних умов та вимог техніки безпеки. Стандартизація – процес виготовлення продукції у відповідності із стандартами.

Уніфікація – приведення різних видів продукції та засобів її виробництва до раціонального мінімуму марок, форм. Основна мета уніфікації – усунення не виправданого різноманіття виробів однакового призначення і різнотипності їх складових частин та деталей, приведення до можливого одноманіття способів їх виготовлення, зборки.

Представлена в даному проекті модернізована конструкція каландра крейдованого картону була спроектована на основі аналогу. Вона складається з стандартизованих та уніфікованих елементів, вузлів, добре зарекомендованих на виробництві в умовах експлуатації.

У даному проекті використано такі стандартні вироби:

1. Болти за ГОСТ 7796, ГОСТ 7798;
2. Гайки за ГОСТ 5915, ГОСТ 11371;
3. Гвинти ГОСТ 1476, ГОСТ 1491, ГОСТ 17473, ГОСТ 17473, ГОСТ 10336, ГОСТ 17478;
4. Манжети за ГОСТ 8752;
5. Шайби ГОСТ 6402, ГОСТ 11371, ГОСТ 14734;
6. Рим-болт ГОСТ 4751
7. Шплінт ГОСТ 3129
8. Шпилька за ГОСТ 22034;
9. Шпонка за ГОСТ 9798, 23360.

Проводимо розрахунок рівня стандартизації  $K_{cm}$  та уніфікації  $K_u$ , % :

$$K_{cm} = \frac{n_{cm}}{n} \cdot 100\% = \frac{228}{472} \cdot 100\% = 48,2,$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де  $n_{cm} = 228$  – кількість стандартних деталей та виробів;

$n = 472$  – загальна кількість деталей;

$$K_y = \frac{n_y}{n} \cdot 100\% = \frac{256}{472} \cdot 100\% = 54,1,$$

де  $n_y = 256$  – кількість уніфікованих деталей та виробів.

За результатами розрахунків ми з'ясували що модернізована конструкція стандартизований 48,2 % та уніфікований 54,1 %, що допомогло спростити конструкцію останнього та дало можливість спростити технологічні процеси виготовлення окремих деталей, а отже і знизити його вартість.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 8 Економічна частина проекту

### 8.1 Обґрунтування необхідності модернізації устаткування

Промисловість хімічного машинобудування займає значну долю як безпосередньо виробничої так і соціальної сфер, забезпечуючи функціональну досконалість, практичність в експлуатації та інженерну виразність об'єктів.

В сучасних умовах перед вітчизняною промисловістю ставиться задача не тільки по збільшенню обсягу випуску готової продукції, а і по підвищенню рівня її новизни, якості та конкурентоздатності.

Каландр є невід'ємною частиною картоноробної машини, і від його роботи залежить якість паперу. Каландр крейдованого картону призначений для досягненні необхідних показників гладкості, щільності, об'ємної маси й рівномірної товщини по ширині полотна. Головним параметром паперу після каландрування є гладкість паперового полотна.

На показники процесу каландрування в основному впливають лінійний тиск у нижньому захваті між валами, число захватів, тривалість каландрування, температура валів і вологість оброблюваного полотна. Ці параметри можна віднести до керуючих параметрів процесу. Найбільш важливий параметр каландрування лінійний тиск і його розподіл по ширині лінії контакту між валами й папером. Ефект впливу на полотно в кінцевому рахунку визначається значенням і характером розподілу тиску, що в значній мірі залежить від в'язкопружних властивостей паперу.

Аналізуючи конструкції каландрів машинних КРМ, що розроблюються та модернізуються останнім часом, а також порівнюючи основні питомі показники машини з досягнутими по галузі приходимо до висновку про морально-технічну застарілість деяких вузлів каландра машинного й необхідність проведення модернізації конструкції.

Показники, що характеризують базову конструкцію та очікувані показники модернізованої машини зведені до таблиці 8.1.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						89
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 8.1 Основні техніко – економічні показники базової та вдосконаленої конструкції каландру

Показники	Модернізована конструкції	Базова конструкція
Продуктивність, т/рік	210345,12	209137,6
Кількість валів, шт	шість	шість
Лінійний тиск, кН/м	200	190
Обрізна ширина картону, мм	4250	4250
Максимально можлива гладкість, с	60	50
Кількість обривів за зміну, шт	чотири	вісім
Наявність валів з полімерним покриттям	є	немає
Потужність приводу, кВт	560	485
Тривалість ремонтного циклу, міс.	7	5
Додаткове споживання електроенергії, кВт-год	657000	-

Науковий керівник:

к.т.н, проф. каф. МАХНВ

\_\_\_\_\_

В.М. Марчевський

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						90
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 8.2 Розрахунок суми капітальних витрат

Вдосконалення конструкції діючого базового устаткування – каландра крейдованого картону КРМ, здійснюється з метою покращення споживчих властивостей базової конструкції, тобто його характеристик: продуктивність, лінійний тиск, максимально можлива гладкість та ін. Разом з тим, модернізація діючого базового устаткування підприємства – це різновид зміни конструкції до найвищого та найсучаснішого рівня. Тобто, модернізація діючого базового устаткування підприємства означає внесення змін в його конструкцію з метою попередження його фізичного та морального зносу, а також підвищення його техніко-економічних параметрів.

В подальшому поняття «модернізація» вживається також і під терміном «удосконалення устаткування». Це пояснюється тим, що методичні підходи до розрахунків техніко-економічних показників є однаковими для обох вищевказаних видів робіт.

Економічно доцільно здійснювати роботу з удосконалення діючого базового устаткування, поєднуючи її з капітальним ремонтом. За результатами виробничої практики на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» встановлено, що модернізація устаткування хімічної, нафтопереробної та паперової галузей забезпечує збільшення його продуктивності на 10 – 20%, а понесені на неї витрати не перевищують половини вартості нових одиниць виробництва аналогічного призначення.

Капітальні витрати підприємства визначаються сумою витрат на розробку та виготовлення необхідних елементів устаткування або ж придбання його у компанії-виробника з включенням всіх витрат на придбання, встановлення та налагодження об'єкту. Придбання валу з пористим полімерним покриттям в компанії-виробника є найбільш поширеним варіантом. Тому сума капітальних витрат в даному випадку складається з наступних елементів:

- витрати на проектно-конструкторські роботи по модернізації,
- витрати на технологічну підготовку проекту модернізації,

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- витрати на придбання та встановлення валу з пористим полімерним покриттям,
- витрати на налагодження механізму притискання валів.

Розрахунок капітальних витрат починається з визначення витрат на проектно-конструкторські роботи. По кожному виду робіт, відповідно до ступеня їх новизни, складності об'єкту, що проектується, та з використанням норм часу на розробку конструкторської документації, визначаємо загальний нормативний час конструкторської підготовки виробництва із зазначенням професії та кваліфікації виконавця робіт.

Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки внесені до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2 Результати розрахунку трудомісткості конструкторської підготовки

Найменування конструкторської документації або видів робіт	К-сть листів	Групи*		Норми часу, год.		Кваліфікація виконавця
		Новизни	Складності	На одиницю	Всього	
Складальний кресленик каландра крейдованого картону КРМ	A1 – 2шт.	3	3	4	12	Інженер - проектувальник I категорії
Складальний кресленик механізму притискання валів каландра	A1 – 1шт.	4	4	3	6	Інженер - проектувальник I категорії

Продовження таблиці 8.2

Складальний кресленик верхнього валу каландра крейдованого картону КРМ	A1 – 1 шт.	4	4	3	6	Інженер - проекту- вальник І категорії
Схема автоматизації каландра крейдованого картону КРМ	A1 – 1 шт.	3	3	4	4	Інженер - проекту- вальник І категорії
Специфікація	A1 – 9 шт.	3	3	2	2	Інженер - проекту- вальник І категорії
Пояснювальна записка	A1 – 140 шт.	3	3	5	5	Інженер - проекту- вальник І категорії
Патентний пошук	A1 – 15 шт.	8	8	5	5	Інженер - проекту- вальник І категорії

\* Групи новизни та складності визначаються за п'ятибальною шкалою, де 1 – група найменш нових креслеників, складність виконання – найнижча. 5 – група найновіших конструкцій та розроблених креслеників, складність виконання – найвища.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						93
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунку основної заробітної плати виконавців проектно-конструкторських робіт представлено у таблиці 8.3.

Таблиця 8.3 Заробітна плата виконавців проектно-конструкторських робіт

Найменування документів	Сумарна норма часу, год	Кваліфікація виконавців	Годинна тарифна ставка, грн	Заробітна плата, грн
Кресленик загального виду	12	Інженер - проектувальник I категорії	80	960
Складальний кресленик механізму притискання	6	Інженер - проектувальник I категорії	80	480
Складальний кресленик верхнього валу	6	Інженер - проектувальник I категорії	80	480
Креслення окремих деталей	3	Інженер - проектувальник I категорії	80	240
Пояснювальна записка	8	Інженер - проектувальник I категорії	80	640
Разом	35	-	80	2800
З урахуванням премії (15 % від тарифу)	-	-	92	3220

Окрім того, на здійснення проектно-конструкторських робіт будуть використані матеріали та інші накладні витрати, наведені в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4 Вартість матеріалів та інші витрати для проектно-конструкторських робіт

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
Папір формату А4	упаковка	1	150	150
Ватман формату А1	шт.	5	15	75
Картридж до принтера	шт.	1	350	350
Олівець	шт.	6	5	30
Ручка	шт.	6	15	90
Разом витрати на матеріали	-	-	-	695
Накладні витрати (40% від основної зарплати)	-	-	-	927
Загальна сума матеріальних та інших витрат	-	-	-	1622

Результати розрахунку витрат на проектно-конструкторські роботи зведені у таблицю 8.5.

Таблиця 8.5. Витрати на проектно-конструкторські роботи

Статті витрат	Сума, грн
Основна заробітна плата	2800
Додаткова заробітна плата (премія)	420
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ)	708,40
Вартість проектних матеріалів	695
Накладні витрати	927
Разом	5550,40

Результати розрахунку трудомісткості на технологічну підготовку проекту модернізації внесені до таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 Результати розрахунку трудомісткості технологічної підготовки проекту модернізації

Вид роботи	Групи склад-ності	Кількість одиниць	Норми часу, год.		Кваліфікація виконавця
			На оди-ницю	Всього	
Проектування технологічного процесу вдосконалення верхнього валу і механізму притискання валів					
Розробка технологічного процесу	5	1	12	12	Інженер - проектувальник I категорії
Проектування верхнього валу каландра крейдованого картону	5	1	8	8	Інженер-механік II категорії
Планування процесу налагодження механізму притискання валів	4	1	8	8	Інженер-механік II категорії
Сумарна трудомісткість технологічної підготовки (t), год					28

Сума витрат на зарплату на технологічну підготовку проекту модернізації становить:

$$\text{КТП} = K_{\text{год}} \text{ТП} \cdot t(1 + \text{ЄСВ})(1 + \text{Пр}) = 80 \cdot 28 \cdot (1 + 0,22)(1 + 0,15) = 3142,72 \text{ грн},$$

де  $K_{\text{год}} \text{ТП}$  – заробітна плата виконавця за годину, грн,

t – норма часу на виконання робіт, год,

ЄСВ – ставка єдиного соціального внеску на заробітну плату 22%,

Пр – премія, встановлена на підприємстві, 15%.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		96

Також для здійснення підготовчих робіт використовуються матеріали та інші накладні витрати, вартість яких внесено до таблиці 8.7.

Таблиця 8.7 Вартість матеріалів та інші витрати для технологічної підготовки

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн
Папір формату А4	упаковка	2	125	250
Ватман формату А1	шт.	1	15	15
Картридж до принтера	шт.	1	350	350
Разом витрати на матеріали	-	-	-	615
Накладні витрати (40% від основної зарплати)	-	-	-	896
Загальна сума матеріальних та інших витрат	-	-	-	1511

Результати розрахунку витрат на технологічну підготовку проекту модернізації зведені у таблиці 8.8.

Таблиця 8.8 Витрати на технологічну підготовку проекту

Статті витрат	Сума, грн
Основна зарплата	2240
Додаткова зарплата (премія)	336
Відрахування на соціальні заходи (ЄСВ)	566,72
Вартість проектних матеріалів	615
Накладні витрати	896
Разом	4653,72



Сума витрат на придбання та встановлення додаткового обладнання складається із ціни виробника даного обладнання, витрат на його транспортування, монтаж і налагодження. Для даного проекту модернізації необхідним є придбання валу з пористим полімерним покриттям «Voith», Німеччина. Орієнтовна ціна даного обладнання з врахуванням витрат на доставку та курсу національної валюти ( $C_n$ ) становить 150365,78 грн.

Витрати на монтаж та налагодження розраховуються у відсотках від ціни обладнання (15 – 25%), в даному варіанті витрати складуть 20% з врахуванням обсягів робіт:

$$K_{дн} = C_n \cdot k = 150365,78 \cdot 0,2 = 30073,16 \text{ грн},$$

де  $K_{дн}$  – сума витрат на монтаж та налагодження,

$C_n$  – вартість додаткового обладнання,

$k$  – частка витрат на оплату робіт щодо монтажу та налагодження.

Таким чином, витрати на придбання та встановлення верхнього валу каландра з пористим полімерним покриттям складуть:

$$K = K_{дн} + C_n = 30073,16 + 150365,78 = 180438,94 \text{ грн}.$$

Витрати на виконання робіт по налагодженню механізму притискання валів здійснюватимуться власними силами підприємства та за попередньою оцінкою, погодженою з підприємством, складатимуть:

$$K_{дод} = t_{дод} \cdot ЗП_{сер} (1 + ЄСВ) \cdot k = 16 \cdot 60 (1 + 0,22) \cdot 1,3 = 1522,56 \text{ грн}$$

де  $K_{дод}$  – вартість робіт по налагодженню механізму притискання валів, грн,

$t_{дод}$  – час, необхідний для виконання робіт по налагодженню механізму притискання валів, год,

$ЗП_{сер}$  – середня заробітна плата працівників підприємства, що виконуватимуть налагодженню механізму притискання валів, грн/год,

ЄСВ – ставка єдиного соціального внеску на заробітну плату 22%,

$k = 1,3$  – коефіцієнт накладних витрат.

Загальна сума капітальних вкладень:

$$K_{заг} = П + КТП + K + K_{дод} = 5550,40 + 4653,72 + 180438,94 + 1522,56 =$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						98
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$= 192165,62 \text{ грн},$$

де  $K_{\text{заг}}$  – загальна сума капітальних вкладень у проект модернізації, грн,  
 $\Pi$  – витрати на проектно-конструкторські роботи (таблиця 8.5), грн,  
 $K_{\text{ТП}}$  – сума витрат на технологічну підготовку (таблиця 8.8), грн.

### 8.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження модернізації

Економічний ефект від проведення модернізації каландра крейдованого картону КРМ буде отримано за рахунок:

- підвищення гладкості картонного полотна після каландру,
- збільшення продуктивності КРМ,
- зменшення експлуатаційних витрат,
- зменшення тривалості ремонтних робіт.

Зменшення вірогідності обриву картонного полотна дозволить підвищення продуктивності КРМ.

Приріст продуктивності КРМ в результаті його модернізації складатиме:

$$\Delta\Pi = \Pi_n - \Pi_0 = 210345,12 - 209137,6 = 1207,52 \frac{\text{тонн}}{\text{рік}},$$

де  $\Delta\Pi$  – приріст продуктивності за рік,

$\Pi_0$ ,  $\Pi_n$  – річна продуктивність обладнання до та після модернізації відповідно.

Тоді, підприємство отримає додатковий прибуток від зростання продуктивності обладнання:

$$E_1 = \Delta\Pi \cdot \Pi_{\text{ГП}} = 1207,52 \cdot 1151 = 1389855,52 \text{ грн}.$$

де  $E_1$  – ефект від зростання продуктивності обладнання,

$\Pi_{\text{ГП}}$  – маржинальний прибуток від продажу за одиниці готової продукції, що дорівнює різниці ціни та змінних витрат на одиницю продукції, грн.

$$\Pi_{\text{ГП}} = \Pi_{\text{г.п.}} - 3B = 50000 - 48849 = 1151 \text{ грн},$$

де  $\Pi_{\text{г.п.}}$  – ціна за тонну готової продукції. Згідно із прас-листом продукції ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат», 1 тонна крейдованого картону коштує 50000 грн.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						99
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ЗВ – змінні витрати підприємства, до яких входить ціна на сировину, необхідну для виготовлення тонни готової продукції ( $\Pi_c$ , грн) та оподатковувана заробітна плата основних робочих ( $З\Pi_{роб}$ , грн.).

$$ЗВ = \Pi_c + З\Pi_{роб} = 30000 + 15450(1 + \text{ЄСВ}) = 48849 \text{ грн.}$$

Здійснення модернізації обладнання дозволить зменшити експлуатаційні витрати підприємства. Експлуатаційні (поточні) витрати при роботі устаткування, складаються з наступних статей витрат:

- витрати паливно-мастильних матеріалів,
- витрати на придбання та виготовлення запасних частин,
- витрати на оплату праці персоналу, що ремонтує устаткування,
- інші експлуатаційні витрати.

З достатнім для розрахунків ступенем точності, який базується на практичних даних підприємств хімічного машинобудування, величина перевищення експлуатаційних (поточних) витрат для удосконаленого базового устаткування порівняно з новим аналогічним устаткуванням складає:

$$E_2 = q_{баз} \cdot \Phi_{баз} - q_{нов} \cdot \Phi_{нов} = 0,03 \cdot 2000000 - 0,02 \cdot 2192165,62 = 16157 \text{ грн,}$$

де  $q_{баз} = 0,03$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат для базового устаткування каландра КРМ, [16]

$q_{нов} = 0,02$  – коефіцієнт експлуатаційних (поточних) витрат для удосконаленого устаткування каландра КРМ, [16]

$\Phi_{баз} = 2000000$  – первісна вартість базового устаткування, згідно із прас-листом компанії-виробника, млн. грн.,

$\Phi_{нов} = 2192165,62$  – первісна вартість удосконаленого устаткування, грн.

Модернізація устаткування дозволить скоротити витрати на здійснення ремонтних робіт, зокрема через співвідношення тривалості ремонтного циклу базового устаткування та модернізованого:

$$E_3 = P \cdot \frac{T_{нов}}{T_{баз}} = 2500 \cdot \frac{7}{5} = 3500 \text{ грн,}$$

де  $E_3$  – економія витрат на здійснення ремонтних робіт, грн,

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						100
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$P$  – середньорічна вартість одного циклу ремонту базового устаткування, яка складає 2500 грн, за даними підприємства,

$T_{\text{баз}} = 5$  – тривалість ремонтного циклу базового устаткування, місяців,

$T_{\text{нов}} = 7$  – тривалість ремонтного циклу устаткування після модернізації, місяців.

Оскільки зростання потужності електродвигуна призводить до збільшення витрат електроенергії, то зростання загальної суми витрат на електроенергію становитиме:

$$E_4 = K_6 \cdot P_6 = 657000 \cdot 2,04 = 1340280 \text{ грн},$$

$K_6$  – кількість електроенергії, яку споживає двигун;

$P_6$  – вартість електроенергії грн./кВт·год

Таким чином, загальна сума додаткового річного прибутку підприємства за рахунок модернізації каландра крейдованого картону КРМ складе:

$$\begin{aligned} \text{ЧП} &= (E_1 + E_2 + E_3 - E_4)(1 - c_{\text{под}}) = \\ &= (1389855,52 + 16157 + 3500 - 1340280)(1 - 0,18) = \\ &= 56770,41 \text{ грн}, \end{aligned}$$

де ЧП – сума річного чистого прибутку, додатково отриманого підприємством після модернізації устаткування,

$c_{\text{под}}$  – ставка податку на прибуток, яка відповідно до Податкового кодексу України складає 18%.

#### 8.4 Оцінка ефективності модернізації устаткування

Оцінка ефективності модернізації каландра крейдованого картону здійснюється шляхом порівняння суми капітальних вкладень з отримуваним додатковим прибутком. Річний економічний ефект:

$$E_{\text{річ}} = \text{ЧП} - K_{\text{заг}} \cdot E_n = 56770,41 - 192165,616 \cdot 0,1 = 37553,85 \text{ грн},$$

де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень. Ця величина обернена нормативному терміну експлуатації устаткування:

$$E_n = \frac{1}{T} = \frac{1}{10}$$

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						101
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де  $T = 10$  – нормативний термін експлуатації устаткування, років.

Також оцінка доцільності модернізації устаткування здійснюється за допомогою періоду окупності:

$$T_{ок} = \frac{K_{заг}}{ЧП} = \frac{192165,616}{56770,41} = 3,38 \text{ року},$$

де  $T_{ок}$  – період окупності капітальних вкладень в модернізацію устаткування.

Середній період окупності аналогічних проектів складає 3 – 5 років, тому запропонована модернізація каландра крейдованого картону КРМ характеризується відносно малим періодом окупності.

Висновок: оскільки запропонована модернізація діючого на підприємстві базового каландру КРМ має малий період окупності відносно аналогічних проектів, то її впровадження на підприємстві є доцільним.

В результаті модернізації каландра крейдованого картону на підвищується продуктивність КРМ та зростає показник гладкості картонного крейдованого полотна. Покращуються властивості паперу, що виготовляється на КРМ. Також до позитивного ефекту від модернізації відноситься покращення показників охорони праці та ергономіки обслуговуючого персоналу.

З метою вдосконалення каландра крейдованого картону пропонується придбати вал з покриттям пористим полімерним матеріалом німецької компанії «Voith». Доставка, монтаж та перевірка забезпечення необхідних технологічних показників вала з покриттям пористим полімерним матеріалом здійснюватиметься компанією-виробником. Налагодження механізму притискання здійснюватиметься інженером-механіком II категорії власними силами підприємства.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						102
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

В магістерській дисертації на здобуття ступеню «Магістр» на тему «Вдосконалення картоноробної машини ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат». Модернізація каландра крейдованого картону (Комплексна)» вдосконалено конструкцію каландра з метою підвищення його продуктивності та покращення якості виготовлення продукції.

Результатом виконання магістерської дисертації є розроблений опис конструкції каландра крейдованого картону, його основних складальних одиниць та деталей. Обрано матеріали для виготовлення каландра крейдованого картону, порівняно основні показники розробленої конструкції з аналогами, проведено патентні дослідження. Для підтвердження працездатності та надійності конструкції каландра проведено необхідні розрахунки, розроблено рекомендації щодо монтажу та експлуатації, розроблено заходи з охорони праці, визначено рівень стандартизації та уніфікації каландра крейдованого картону, виконано техніко-економічне обґрунтування модернізації каландра КРМ, розроблено технологічний процес виготовлення деталі (торцевого кільця валу каландра) та схеми автоматичного керування технологічним процесом каландрування.

Графічна частина проекту включає складальні кресленики еквівалентом 9,5 листів формату А1: каландр крейдованого картону, механізм піднімання і притискання валів, вал з гідропідтримкою оболонки, вал приводний, верхній вал, нижній шабер, кільце торцеве, кондуктор порталний, функціональна схема автоматизації процесу каландрування. До складальних креслеників виконано специфікації.

За період виконання дисертації подано заявку на корисну модель, каландра для вигладжування полотен крейдованих волокнистих матеріалів, опубліковано статтю в Мультидисциплінарному Міжнародному науковому журналі «Інтернаука» та дві тези доповідей на Всеукраїнських конференціях.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		103

## Выводы

В магистерской диссертации образовательной степени «Магистр» на тему «Усовершенствование картоноделательной машины ЧАО «Киевский картонно-бумажный комбінат». Модернизация каландра мелованного картона (Комплексная)» усовершенствована конструкция каландра с целью повышения его производительности и улучшения качества изготовления продукции.

Результатом выполнения магистерской диссертации является разработка описания конструкции каландра мелованного картона, его основных сборочных единиц и деталей. Избраны материалы для изготовления каландра мелованного картона, сравнено основные показатели разработанной конструкции с аналогами, проведены патентные исследования. Для подтверждения работоспособности и надежности конструкции каландра проведены необходимые расчеты, разработаны рекомендации по монтажу и эксплуатации, разработаны рекомендации по охране труда, определен уровень стандартизации и унификации каландра мелованного картона, выполнено технико-экономическое обоснование модернизации каландра КДМ, разработан технологический процесс изготовления детали (торцевого кольца вала каландра) и схемы автоматического управления технологическим процессом каландрирования.

Графическая часть проекта включает сборочные чертежи эквивалентом 9,5 листов формата А1: каландр мелованного картона, механизм подъема и прижима валов, вал с гидropоддержкой оболочки, вал приводной, верхний вал, нижний шабер, кольцо торцевое, кондуктор порталный, функциональная схема автоматизации процесса каландрирования. К сборочных чертежей выполнено спецификации.

За период выполнения диссертации подана заявка на полезную модель, каландра для выглаживания полотен мелованных волокнистых материалов, опубликована статья в Мультидисциплинарном Международном научном журнале «Интернаука» и две тезисы докладов на Всеукраинских конференциях.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						104
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Conclusions

In the dissertation of Master's degree on theme «Advancement of cardboardmaking machine of PJSC «Kyiv Cardboard and Paper Mill». Modernization of calender section of chalk cardboard. (Complex)» the design of the calender has been improved in order to increase its productivity and improve the quality of production.

The result of the master's thesis is the development of a description of the construction of a calender of coated cardboard, its main assembly units and parts. Materials for making calender of coated cardboard were selected, the main indicators of the developed design were compared with analogues, and patent research was carried out. To confirm the performance and reliability of the calender design, the necessary calculations were carried out, recommendations for installation and operation were developed, recommendations for labor protection were developed, the standardization and standardization of coated calender of coated cardboard was determined, the feasibility study was carried out to modernize the calender of the KDM; a technological process was developed for manufacturing a part (end ring of the calender shaft) and an automatic control scheme for the calendaring process.

The graphic part of the project includes assembly drawings equivalent to 9.25 sheets of A1 format: coated cardboard calender, shaft lifting and clamping mechanism, shell hydraulically supported shaft, drive shaft, upper shaft, lower scraper, end ring, portal jig, functional diagram of calendaring process automation. For assembly drawings fulfilled specifications.

According to the results of work, an application was submitted for a utility model of a calender for smoothing cloths coated fiber materials, an article in the Multidisciplinary International Scientific Journal «Internauka» was published and two of reports at the All-Ukrainian Conference was published.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						105
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



## Перелік посилань

1. Фляте, Д. М. Свойства бумаги. / Д.М. Фляте – Изд. 3-е, переработаное и дополненное. – М. Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с. : ил. ; – 3000 экз.
2. Чичаев, В. А. Оборудование целлюлозно-бумажного производства [Текст]. В 2 т. Т. 2. Бумагоделательные машины / В. А. Чичаев, М. Л. Глезин, В. А. Екимова ; под. общ. ред. В. А. Чичаева. – М.: Лесная промышленность, 1981. - 264 с.: ил. ; – 2900 экз.
3. Патент 94037 Україна, МПК (2006.01) B29C 43/24. Каландр машинний [Текст] / Кравець Н.В., Улітько Р.М. (UA) – № u201405185; заявл. 16.05.2014; опубл. – 27.10.2014, Бюл. № 20 – 4 с. : ил.
4. Патент 106881 Україна, МПК (2006.01) B29C 43/24. Каландр машинний [Текст] / Сметанюк І.С., Гробовенко Я.В. (UA) – № u201511140; заявл. 13.11.2015; опубл. – 10.05.2016, Бюл. № 9 – 4 с. : ил.
5. Патент 116111 Україна, МПК (2006.01) B29C 43/24. Каландр машинний [Текст] / Гурін Д.В., Гробовенко Я.В. (UA) – № u201611403; заявл. 10.11.2016; опубл. – 10.05.2017, Бюл. № 9 – 4 с. : ил.
6. Patent 202284265 U CN, Int.Cl. D21G 1/00. Heavy pressure paper board calender [Text] / Yu Chunfang (CN), Liu Guoyu (CN), Zhang Lianzhen (CN) – № 201120376209; filed 28.09.2011; Date of patent 27.06.2012.
7. Patent 106381748 A CN, Int.Cl. D21G 1/00. Two-roller calender [Text] / Zhang Lianzhen (CN) – № 201610951887; filed 03.11.2016; Date of patent 08.02.2017.
8. Патент 87093 Україна, МПК (2013.01) B31F 1/00. Каландр машинний [Текст] / Семінський О.О., Мигаль О.В. (UA) – № u201307949; заявл. 25.06.2013; опубл. – 27.01.2014, Бюл. № 2 – 4 с. : ил.
9. Эйдли́н, И. Я. Бумаго-делательные и отделочные машины [Текст] / И.Я. Эйдли́н. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1970 – 624 с. : ил. ; – Библиогр.: с. 610–611. – 8000 экз.
10. Писаренко, Г.С. Опір матеріалів: Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С. Писаренка. — 2-е вид., допов. І переробл. –

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		106

К.: Вища шк., 2004. — 655 с.: іл.

11. Чичаев В.А. Курсовое и дипломное проектирование оборудования предприятий целлюлозно-бумажной промышленности / В.А. Чичаев, М.Л. Глезин. – М.: „Лесная промышленность” 1989.- 176 с.

12. Каталог электродвигунів Siemens M11.2004/2005 a1.

13. Стадник, В.А. Розрахунок та конструювання валів. Вибір підшипників кочення за динамічною вантажопідйомністю: Метод. вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Деталі машин» для студ. машинобудівних спец. усіх форм навчання/ Уклад. В.А. Стадник. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. – 108 с.

14. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці. Навч. посібн. / За ред. В. Ц. Жидецького – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

15. Кокушин Н.Н. Монтаж и ремонт целлюлозно-бумажного оборудования / Н.Н. Кокушин. – М.: Экология, 1991. – 209 с.

16. Задольский, А.М. Методичні вказівки для виконання економічної частини диплому спеціалістів / А.М. Задольский. Київ: КПІ, 2012 р. – 82 с.

					ЛБ71.705367.001 ПЗ	Арк.
						107
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		